

Fahrerzentrierter Kriterienkatalog zur Außensichtbeurteilung im PKW

Vom Fachbereich Maschinenbau
der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Lars Woyna

aus Darmstadt

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
Tag der Einreichung:	01.07.2013
Tag der mündlichen Prüfung:	13.11.2013

Darmstadt, 2014

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit, abgesehen von den in ihr ausdrücklich genannten Hilfen, selbständig verfasst habe

Danksagung

Im Rahmen der Projektbearbeitung, die diese Promotion begleitet hat, wurden viele hervorragende studentische Arbeiten initiiert, durchgeführt und betreut, ohne deren Arbeitsleistung und inhaltlichen Ertrag die Erstellung der vorliegenden Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen wäre. Daher gilt mein persönlicher Dank ganz besonders den folgenden Studenten, die mit ihrem unermüdlichen Einsatz, ihrem Durchhaltewillen, ihrer Kreativität und Interesse sowie ihrer Zielstrebigkeit und Sorgfalt bei der Bearbeitung und Zielerreichung maßgeblich zum Gelingen beigetragen haben:

Bastian Brandt, Lutz Cloos, Felix Crößmann, Songyan Di, Özgür Eyigoz, Christian Faustmann, Jens Focke, Thorsten Groß, Zhihong Guo, Martin Hesse, Serkan Koltuk, Ingmar Langer, Jens Meister, Roland Nattermann, Markus Penner, Johannes Pfeiffer, Daniel Prein, Peter Rieser, Philipp Roßmann, Jochen Ruhl, Christopher Seib, Philip Skribanowitz, Akira Tarumi, Serhat Umar, Shanshan Yu, Silvia-Luna Yzaguirre Sanchez, Lei Zhang, Ilka Zöllner,

Weiterhin gilt mein Dank für die Unterstützung durch ein offenes Ohr und der Bereitschaft für viele fruchtbare Diskussionen meinen Kollegen:

Dr. Bettina Abendroth, Max Bierwirth, Klaus Fuchs, Michaela Kauer, sowie ganz besonders Michael Schreiber.

Für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die tatkräftige Unterstützung seitens des industriellen Projektpartners danke ich der Adam Opel AG, insbesondere persönlich Herrn Dr. Stefan Gloger und Herrn Marc Schmidt, Herrn Holger Klein und Herrn Friedrich Kirchner.

Für die inhaltliche Betreuung meiner Dissertation, herzlich bedanken möchte ich mich überdies bei meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder, der mich über die gesamte Promotionsphase hinweg fachlich hervorragend begleitet und gelenkt hat. Ebenso sei Herrn Prof. Dr.-Ing Uwe Klingauf für die Übernahme des Korreferats gedankt.

Darüber hinaus möchte ich mich bei meiner gesamten Familie für die persönliche Unterstützung, das Verständnis und die ausdauernden Ermutigungen während meiner gesamten Promotionszeit und insbesondere während der Verschriftlichungsphase bedanken.

Besonders hervorgehoben sei das stets freundliche, konstruktive, kooperative und unkomplizierte Arbeitsklima und der nette Umgang am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt, ohne das eine erfolgreiche Forschungsarbeit nicht erfolgreich hätte stattfinden können. Meinen (ehemaligen) Institutskollegen sei dafür herzlichst gedankt.

Zusammenfassung

Die Berücksichtigung der Sichtverhältnisse des Fahrer eines Kraftfahrzeugs innerhalb der Fahrzeugentwicklung lässt sich im Hinblick auf eine verkehrssichere und komfortabel / angenehme Teilnahme am Straßenverkehr aus vielerlei Gründen motivieren. Um der hohen Relevanz des visuellen Sinnes- bzw. Informationskanals für die Bewältigung der Fahraufgabe Rechnung zu tragen und diese vor allem gegenüber den zahlreichen konkurrierenden Anforderungen im Fahrzeugentwicklungsprozess zu stärken, bedarf es belastbarer, nachvollziehbarer Beurteilungskriterien und -methoden. So ist das Ziel der vorliegenden Arbeit die Erarbeitung eines derartigen Kriterienkatalogs zur Sichtbeurteilung.

Einer Analyse zum Stand der Technik bzw. Forschung hinsichtlich Sichtbeurteilungsmethoden bzw. Wechselwirkungen zwischen Sichtbeeinträchtigung und potentiellen Folgewirkungen auf das Fahr-geschehen, folgt die Entwicklung eines Modells zur Unterteilung und gleichzeitigen Gewichtung von Teilsichtbereichen, welche sich auf das Datenfundament einer hochdetaillierten Unfalldatenbank (GIDAS) stützt. Basierend auf dieser werden gezielt jene Unfallereignisse analysiert und statistisch ausgewertet, für die ein ursächlicher Zusammenhang mit einem (karosserieinduzierten) visuellen Informationsdefizit aufgezeigt sowie ein assoziierter Sichtbereich zugeordnet werden kann.

Dieser gewichteten Einteilung in vier Teilsichtbereiche, welche die unterschiedliche Relevanz der Sichtbereiche für die Fahrzeugführungsaufgabe reflektiert, folgt die spezifische, detaillierte Unter-suchung der einzelnen Teilsichtbereiche zu deren Feinunterteilung bzw. zur Schaffung teilsicht-bereichsspezifischer Kriterien. Dieses modulare Untersuchungskonzept (Superpositionsprinzip), das die Sichtanforderungen innerhalb des Teilsichtbereichs von der globalen Relevanz des jeweiligen kompletten Teilsichtbereiches entkoppelt betrachtet, ermöglicht die spätere Erweiterung um zusätz-liche Kriterien sowie die Aktualisierung des Gewichtungsfundamentes (Unfalldatenanalyse) der Teilsichtbereiche. Innerhalb der Teilsichtbereiche werden die Sichtanforderungen als „Sichtbedarf“ des Fahrzeugführers interpretiert und als solche sukzessive ermittelt.

Zur Feinunterteilung der Frontsicht wird daher in einer umfangreichen Probandenstudie im realen Straßenverkehr die reale, situationsspezifische Blickverteilung - referenziert auf das Fahrzeugkoor-dinatensystem - ermittelt. Daraus resultiert eine raumwinkelkodierte Feingewichtungsmatrix, welche in eine anschließende Methodenentwicklung zur Anwendung in der Fahrzeugentwicklung als Beur-teilungskriterium einfließt. Eine Korrelationsanalyse hiermit ermittelter Frontsichtbeurteilungen mit den Ergebnissen einer subjektiven, dynamischen Beurteilungsreihe gleicher Fahrzeuge kann die Aussagefähigkeit der entwickelten Methode für die subjektive Sichtbeurteilung für herkömmliche Fahrzeugkonzepte aufzeigen.

Der Untersuchungsansatz für die Seitensicht stützt sich auf eine Parameterstudie mit Probanden hinsichtlich der Positionierung der sog. B-Säule. Diese kann sowohl statistisch-sicherheitstechnisch als auch subjektiv als das dominante Bauteil bzgl. einer Sichtbeeinträchtigung im Seitensichtbereich

identifiziert werden. Aus dem Ergebnis wird eine Beurteilungsmethode für den Seitensichtbereich herkömmlicher PKW-Konzepte abgeleitet, die sich am Anteil des erwarteten Fahrerkollektivs orientiert, für welches die als akzeptabel erhobenen, augpunktabhängigen Sichtbedingungen vorliegen.

Die Beurteilung des Teilsichtbereichs im Heck gliedert sich in einen Nah- und Fernsichtbereich bzw. einen direkten und indirekten Hecksichtbereich auf, für den jeweils unterschiedliche Bewertungskriterien entwickelt werden, die den Rahmen gesetzlicher Anforderungen übersteigen und einen Erkenntnisgewinn generieren. Aus empirischen, in der Literatur vorliegenden, Ergebnissen von Fahrversuchen zur relativen Position nachfolgender Fahrzeuge im rückwärtigen Fernbereich wird ein Bewertungskriterium der indirekten Rücksichtverhältnisse (Innenspiegel) übernommen und in eine Bewertungsmethode integriert. Das Beurteilungskriterium für den direkten rückwärtigen Nahsichtbereich wird aus theoretischen Betrachtungen zu typischen Bewegungstrajektorien des rückwärtsbewegten Egofahrzeugs abgeleitet und ebenfalls in eine Bewertungsmethode überführt.

Abschließend wird anhand einer exemplarischen Anwendung der entwickelten Methoden das Konzept einer Gesamtbewertung der Sichtbedingungen unter Berücksichtigung des Erfüllungsgrades des Sichtbedarfs der Teilsichtbereiche und der unterschiedlichen Relevanz der Teilsichtbereiche verdeutlicht sowie der Weg für eine ausstehende Validierung der vorgeschlagenen Methode aufgezeigt.

Basierend auf den beschriebenen, realitätsbezogen ermittelten Kriterien soll die vorliegende Arbeit gemäß Ihrer Motivation als Beitrag zur Schaffung verbesserter, stärker objektiver und nachvollziehbarer Sichtbeurteilungsmethoden im Fahrzeugentwicklungsprozess verstanden werden. Darüber hinaus ermöglicht Ihr modularer Untersuchungs- und Gewichtungsansatz die kontinuierliche Aktualisierung oder Erweiterung der einzelnen Bewertungskriterien.

Abstract

There are several reasons why the outward visibility of a passenger car driver should be considered during the vehicle development process. Providing for the tremendous importance of the visual information channel for safe and comfortable vehicle driving, valid and comprehensible evaluation criteria and methodology are required. Even more, when the broad range of competitive development requirements is taken into account. Related to that the ambition of this thesis is to create a catalogue of geometrical criteria for the evaluation of outward visibility in passenger cars.

Starting with the state of the art concerning outward visibility evaluation and interaction between sight impairment and potential side effects on driving, a model is developed which allows a subdivision of the outward vision field into four weighted main vision subsectors. Therefore this approach is based on a highly detailed – so called ‘in-depth’ - accident database which is analyzed for accidents which occurred verifiably due to vehicle body induced sight obstructions in an associated vision sector. Within those four subsectors whose weighting reflect their different importance for the driving task, separate individual studies are conducted in order to analyze the driver’s geometrical visual demand for adequate driving which will later on serve as partial, vision sector internal, criteria. This modular (super positioning / coarse to fine) approach allows continuous updates of revised vision criteria section wise since it regards the sector internal vision requirements independent from the global relevance of the particular sector.

In terms of *forward visibility* the actual driver gaze distribution with regards to the vehicle fixed coordinate system is recorded in well assorted driving / traffic situations in realistic driving conditions on public roads. The result of this is a dihedral angularly coded matrix of fine weightings for a further subdivision of the forward visibility subsector. Based on that, a methodology is presented using this forward visual demand to create geometrical criteria for the vehicle development. In addition a correlation study comparing this method with subjective evaluation for the same subset of vehicles gained in a realistic drive clinic shows a high confidence level for this methodology in terms of predicting subjective driver sight evaluation.

In order to investigate *side visibility*, a parameter study with probands is conducted focusing on the location angle of the vehicle’s driver side B-pillar as the dominant component in terms of vision impairment. Its importance concerning side visibility is supported by vehicle safety statistics as well as by a subjective survey prior to the actual study. As a result of this study a methodology for side vision evaluation in passenger cars is developed combining the gained acceptance margin with the range of eyepoints of the expected driver population.

Rear visibility is treated and investigated separately in two subsectors: A short-range and a long-range sector respective direct- and indirect rear vision sector. For both sectors evaluation methodology is created which exceeds the legal requirements and therefore provides significant benefits for

rear vision assessment. In terms of indirect rear vision a metric is derived based on published results of empirical studies concerning the distribution of relative locations of following vehicles in real traffic environment. This methodology enables an assessment of the rear window based on objective data. The direct rear vision / short range zone is analyzed theoretically with regards to typical motion paths of passenger cars during reversing situations. Though, the actual evaluation criterion is based on the ground floor area which is in a reversing vehicle's reach. The higher the percentage of visibility of this area provided by the vehicle to be assessed, the higher the individual score for direct rear vision is.

Finally, the complete method is applied exemplarily, emphasizing the approach of an overall passenger car outward visibility evaluation based on the degree of fulfillment of the visibility demand per sight section. In addition, recommendations are presented showing the way how the validation of the methodology could be conducted.

In summary, this thesis provides a tool that is to be understood as a measure to evaluate outward visibility geometrically based on real driver vision behavior related criteria in a more objective and understandable manner during the vehicle development process. Furthermore, the modular investigation and weighting approach empowers to constantly update or extend the range of criteria.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung.....	ii
Danksagung.....	iii
Zusammenfassung	iv
Abstract	vi
Inhaltsverzeichnis.....	viii
1. Einleitung	1
1.1. Motivation.....	1
1.2. Abgeleitete Fragestellung	7
1.3. Aufbau der Arbeit	7
2. Stand der Forschung und Technik	9
2.1. Informationsaufnahme über den visuellen Sinneskanal	9
2.2. Fahrzeugtechnische & fahrzeugergonomische Grundbegriffe	12
Fahrzeugkoordinatensystem.....	12
Sichtrelevante Fahrzeugbauteile	12
Positionierungsmaße des Fahrers im Fahrzeug	13
Fahrzeugsichtergonomische Grundbegriffe.....	14
2.3. Methoden zur Sichtbeurteilung	15
2.3.1. Gesetzliche Rahmenbedingungen und Richtlinien	15
Regelwerke zur Auslegung des Frontsichtbereichs	17
Regelwerke zur Auslegung des Hecksichtbereichs.....	22
Regelwerke zur Auslegung des Seitensichtbereichs.....	24
2.3.2. Nichtgesetzesrelevante Beurteilungsmethoden.....	25
Physikalisch - objektive Methoden	27
Physikalisch - subjektive Methoden	30
Virtuelle Methoden.....	31
Virtuell - Objektive Beurteilungsverfahren	31
Virtuell - subjektive Beurteilungsverfahren	32
2.3.3. Zusammenfassende Bewertung existierender Methoden	35
3. Modell zur Ermittlung des Sichtbedarfs des Fahrers	40
3.1. Modell zur Einteilung der Rundumsicht.....	40
3.1.1. Ansätze zur Sichtbereichseinteilung	40
Top-Down-Ansatz zur Einteilung der Sichtbereiche	40
Bottom-Up-Ansatz zur Einteilung der Sichtbereiche.....	43

Hybrider Ansatz	44
3.1.2. Einteilungskriterium zur Grobeinteilung der Rundumsicht	44
3.1.3. Abgrenzung und Gewichtung der Teilsichtbereiche	46
Auswahl der verwendeten Datenquelle	46
Ableitung einer gewichteten Sichtbereichseinteilung	49
3.2. Modell einer sichtbedarfsorientierten Gesamtbewertung	53
4. Bestimmung des Frontsichtbedarfs	54
4.1. Untersuchungskonzept	55
4.2. Versuchsaufbau	58
4.2.1. Versuchsfahrzeug	58
4.2.2. Messausrüstung	60
4.2.3. <i>Blickrichtungsanalyse</i>	61
4.2.4. Einfluss der Augpunktposition	62
4.2.5. Probandenkollektiv	64
4.2.6. Versuchsstrecke	67
4.2.7. Situationsidentifikation	70
4.3. Ergebnisse	70
4.4. Ableitung einer Frontsicht-Beurteilungsmethode	75
4.4.1. Praktische Umsetzung der 15-Feld-Methode & exemplarische Anwendung	75
4.4.2. Gegenüberstellung subjektiver & objektiver Bewertung	78
4.5. Abgrenzung von ähnlichen Methoden	79
4.6. Zusammenfassende Betrachtung der Frontsichtbeurteilung	84
5. Bestimmung des Seitensichtbedarfs	85
5.1. Untersuchungskonzept	89
5.2. Variationsbereich der Sichtparameter	90
5.3. Versuchsaufbau	91
5.3.1. Versuchsstrecke	92
5.3.2. Probandenkollektiv	93
5.3.3. Erhebungsmethode	94
5.3.4. Hypothesen	94
5.4. Ergebnisse	95
5.5. Ableitung einer Seitensicht-Bewertungsmethode	106
6. Bestimmung des Hecksichtbedarfs	108
6.1. Systematisierung der Hecksichtbereiche	108
6.2. Bestimmung des Sichtbedarfs im rückwärtigen Fernbereich	108
6.3. Bestimmung des Sichtbedarfs im rückwärtigen Nahbereich	113
6.4. Ableitung einer Hecksicht-Beurteilungsmethode	117
7. Methode zur Gesamtsichtbeurteilung	121
7.1. Definition der Erfüllungsgrade der Teilsichtbereichskriterien	121
7.1.1. Frontsicht	121
7.1.2. Seitensicht	122
7.1.3. Hecksicht	122

7.2. Exemplarische Anwendung der Gesamtsichtbewertung	122
7.3. Validierung der entwickelten Methode.....	127
8. Ausblick.....	128
8.1. Kritische Betrachtung von Umfang und Aktualität der verwendeten Datenbasis	128
8.2. Optimierungspotential	128
8.2.1. Seitensicht.....	128
8.2.2. Hecksicht.....	129
8.3. Anwendung in der industriellen Praxis	129
Literaturverzeichnis.....	131
Literaturquellen	131
Normen, Gesetze und Richtlinien:	138
Internetquellen	138
Patente & Offenlegungsschriften:	138
Studentische Arbeiten.....	139
Studienarbeiten	139
Diplomarbeiten	139
Bachelorthesis	139
Anhang.....	140
A. GIDAS-Unfalltypenbeschreibung.....	140
B. Algorithmus Blickrichtungsanalyse	145
C. Probandenfragebogen Blickdichteverteilung in Anlehnung an Rieser & Zöller (2011)	151
D. Probandenkollektiv der Hauptversuchsreihe zur Ermittlung der Blickdichteverteilung	155
E. Situationsspezifische Blickdichteverteilungen zur Überlagerung.....	156
F. Gesamtblickdichteverteilung durch Überlagerung der situationsspezifischen Verteilungen...	157
G. Exemplarische Anwendung der Frontsichtbeurteilung.....	159
H. Fahrstrecke GME-Visibility Driving Clinic	160
I. Fragebogen für die dynamische B-Säulen-Beurteilung	161
J. Fragebogen für die statische B-Säulen-Beurteilung	162
K. Einzel Ergebnisse der B-Säulen-Beurteilung	163
L. Testschrankentabelle.....	164
M. Probandenkollektiv Augellipsenversuche WAHL 2008	164
N. Übersichtsmatrix: Untersuchungsschwerpunkte & Methodik.....	165
O. Versuchsmatrix: Erhebung Fahrerbeanspruchung und –Reaktion vs verwendete Erhebungsmethoden je Untersuchungsreihe im Forschungsprojekt.....	166
Abbildungsverzeichnis	167
Abkürzungsverzeichnis.....	176
Variablenverzeichnis.....	177
Lebenslauf.....	178

1. Einleitung

1.1. Motivation

Eine wesentliche Voraussetzung für sichere Fahrzeugführung ist, dass der Fahrer die verkehrssituative Umgebung mit allen relevanten Elementen wahrnimmt, erkennt, richtig interpretiert und daraufhin adäquat (re)agiert. Hierbei nimmt die visuelle Informationsverarbeitung die dominante Rolle ein: Nach ROCKWELL (1972) beträgt der Anteil der relevanten Informationen, die der Fahrer über den visuellen Kanal aufnimmt, ca. 90% (vgl. ROCKWELL et al. 1968, 29, HARTMAN 1970, 629, HÖFNER et al. 1973, 222, HILLS 1980, 183, ESTEVE, AOUSSAT, MILLET 1999, 1). Auch wenn in der Fachwelt die Gültigkeit dieser Zahl bzw. deren grundsätzliche Erhebbarkeit generell angezweifelt wird (SIVAK 1996), so lassen doch bereits anhand einfacher Gedankenexperimente (beispielsweise über eine blinde Fahrt einer kurvenreichen Bergstraße) gefundene Erkenntnisse keinen Zweifel an der hohen Relevanz der Sicht bzw. des visuellen Sinneskanals für die Arbeitsaufgabe „Autofahren“. Die hohe Bedeutung des visuellen Sinneskanals für die Fahrzeugführung ist indes in seinen Eigenschaften begründet. Das Auge ist als einziges Sinnesorgan in der Lage, zielgerichtet Informationen auch aus Entfernungen aufzunehmen, die den jeweiligen Anhalteweg des Fahrzeugs überschreiten (COHEN 1998, 3). So verwundert es nicht, wenn wesentlich mehr Informationen über den visuellen als über jeden anderen Sinneskanal aufgenommen werden.

In Abbildung 1.1 sind die drei grundsätzlich nutzbaren Sinneskanäle zur Informationsaufnahme des Fahrers im Straßenverkehr dargestellt. Der Fahrer nimmt Information über die Umgebung und das Verkehrsgeschehen jedoch überwiegend über den visuellen Kanal auf und greift daraufhin über die haptischen Stellteile (Fahrpedal, Bremspedal und Lenkrad) in die Fahrzeugführung ein (hier nicht dargestellt). Weitere Informationen und Rückmeldungen über den Fahrzustand oder den Ausnutzungsgrad fahrdynamischer Grenzen erhält er über den haptischen oder auditiven Sinneskanal.

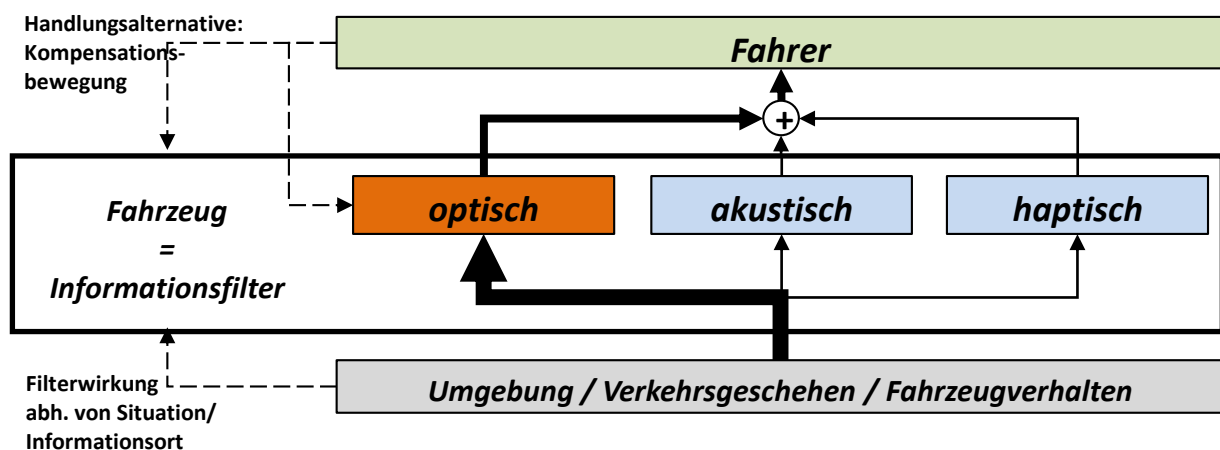


Abbildung 1.1: Modell des gefilterten, unidirektionalen Informationsflusses „Umgebung - Fahrzeug - Fahrer“.

Das Fahrzeug stellt jedoch für den dargestellten Informationsfluss und somit für die Informationsaufnahme durch den Fahrer einen Filter dar. Haptische und akustische Informationen werden durch die schwingungsmechanischen Eigenschaften des Fahrzeugs gefiltert, während die Aufnahme der visuellen Informationen durch die Sichtverdeckungswirkung der Fahrzeugkarosserie beeinflusst wird.

Da visuelle Informationen unterschiedlicher Verkehrssituationen und –räume relativ zum Fahrzeug und zum Fahrer auch unterschiedlich lokalisiert sind, ist die visuelle Filterwirkung nicht unveränderbar sondern kann als abhängig von Verkehrssituation und –raum sowie der Position des Fahrers im Fahrzeug betrachtet werden. So kann der Fahrer seinen Augpunkt mittels sog. Kompensationsbewegungen (HUDELMAIER 2003) relativ zur Fahrzeugstruktur variieren und somit die Filterwirkung beeinflussen. Je nach Fahrsituation bzw. Ausprägung der Sichtverdeckung des Fahrzeugs kann diese Kompensationsbewegung unterschiedlich stark ausfallen und sich von der einfachen Kopfbewegung über eine zusätzliche leichte Oberkörperbewegung bis hin zum Einsatz der Arme und Beine zum Drehen des gesamten Torsos etwa bei Rückfahrsituationen erstrecken (HUDELMAIER 2003). Kompensationsbewegungen müssen jedoch stets aktiv vom Fahrer durchgeführt werden, bedürfen daher einer Notwendigkeit im Bewusstsein des Fahrers, benötigen Zeit und können demnach für das Entdecken unerwarteter Objekte oder Hindernisse nur unzureichend in Betracht gezogen werden.

Schlechte Sichtverhältnisse können demnach entsprechend verheerende Folgen haben und ein bedeutsames Unfallrisiko darstellen (vgl. SPRENGER 2008, 48). Die Auswirkungen derartiger Sichtdefizite auf die Fahrsicherheit lässt z.B. ein Blick auf die Unfallstatistik des ADAC aus dem Jahre 2008 erahnen. Dieser gibt an, dass sich ein Siebtel aller Unfälle und rund ein Drittel aller tödlichen Unfälle an Kreuzungen auf Landstraßen ereignen. Laut ADAC scheinen jedoch nicht etwa Sichtbarrieren durch Bebauung oder Bepflanzungen ursächlich, vielmehr ereignet sich die überwiegende Mehrheit dieser Kreuzungsunfälle an weithin gut einsehbaren Kreuzungen, die indes nicht durch ein Stoppschild geregelt sind und den Nichtvorfahrtsberechtigten nicht zum Anhalten oder Vermindern seiner Geschwindigkeit veranlassen / zwingen. Die Unfallexperten des ADAC (ADAC 2008) sehen die Gründe für diesen Unfalltyp in einem Informationsdefizit aufgrund mangelnder Aufmerksamkeit und (zunehmender) Sichtverdeckung im Bereich der vorderen Fahrzeugdachholme (A-Säule). Die sog. A-Säulen erzeugen einen Schatten in der Fahrzeugumgebung, der sich insbesondere auch auf die kreuzende Fahrbahn erstreckt, auf der er sich proportional zur Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs dem Kreuzungspunkt nähert. In Verbindung mit der ansonsten freien Sicht werde dem Fahrer suggeriert auf eine freie Kreuzung aufzufahren. Ohne zusätzliche Kompensationsbewegung überblickt der Fahrer dann jedoch nicht den sich quer zur eigenen Bewegungsrichtung bewegenden, verdeckten Bereich, der je nach Größe des Verdeckungswinkels und Abstand zur Kreuzung einen LKW, PKW oder ein Zweirad beinhalten kann. Je größer der Säulenschatten und je kleiner das querbewegte Fahrzeug desto näher zur Kreuzung liegt der Punkt,

an dem das Objekt aus dem Säulenschatten „herauswächst“ und für den Fahrer erkennbar wird. Offenbar sei es dann jedoch für eine Reaktion vielfach zu spät. Ein aktiver Fahrer aber auch eine günstige, schmale Säulengestaltung legen diesen Punkt weiter vor die Kreuzung und erhöhen das aktive Sicherheitsniveau des Fahrzeugs.

Die Voraussetzungen für das Auftreten einer solchen Situation sind indes lediglich ein konstantes Abstands- und Geschwindigkeitsverhältnis der quer zueinander bewegten Fahrzeuge relativ zum Kreuzungspunkt, das sich über den Annäherungszeitraum nicht ändert und je nach Ausprägung des Kreuzungswinkel β in etwa dem Tangens des Öffnungswinkels α der A-Säule entspricht (vgl. Abbildung 1.2)

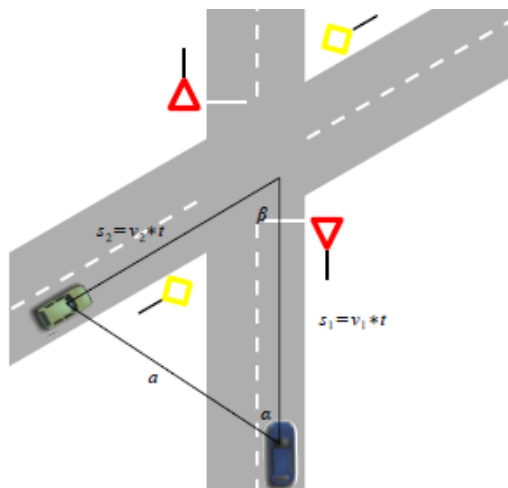


Abbildung 1.2: Verkehrssituation an weithin einsehbaren Kreuzungen mit proportional querbewegtem Fahrzeug im Schatten der A-Säule.

Neben dieser gibt es eine Reihe weiterer Untersuchungen bzgl. der Wechselwirkung visueller Informationsaufnahme und Fahrleistung bzw. -sicherheit. WILSON et al. (2007) konnten zeigen, dass die Fahrleistung (Rundenzeit bei einer Fahrsimulation) signifikant abnahm, wenn dem Fahrer ein Teil der Sicht auf die simulierte Strecke genommen wurde und somit Kurven erheblich schlechter einzusehen waren. KNAPPE, KEINATH und MEINECKE (2008) untersuchten die Sensitivität verschiedener Maße zur Beurteilung der Querregelungsgüte u.a. anhand einer optionalen Sichtfeldeinschränkung auf 5° . Sämtliche Bewertungsmaße (Time to line crossing „TLC“, Standard Abweichung der lateralen Fahrstreifen Position „SDLP“, Steering Reversal Rate SRR etc.) weisen hohe bis sehr hohe Effektstärken auf, was darauf hinweist, dass die untersuchten Maße sensitiv für eine Sichtfeldeinschränkung sind, bzw. die Sichtfeldeinschränkung die Güte der Fahrzeugquerführung beeinflusst. Laut einer Analyse von VOLLRATH & BRIEST (2008) stellen Kollisionen mit Bevorrechtigten (Einbiegen / Kreuzen, Abbiegen, etc.) ca. 36% der schweren Unfälle dar, wobei in 42% aller schweren Unfälle reiner Informationsmangel ursächlich sein soll. Sofern Handlungsfehler und Ursache unabhängig sind, kann abgeschätzt werden, dass ca. 15% aller schweren Unfälle aufgrund von Informationsmangel in Situationen entstehen, in denen der Fahrer Vorfahrt hätte

gewähren müssen. Auch wenn diese beispielhafte Analyse nicht eindeutig klärt, inwieweit die Sichtverhältnisse der Karosserie ursächlich für das Informationsdefizit waren bzw. welche Rolle andere Faktoren (witterungsbedingte Sichtverhältnisse, mangelnde Aufmerksamkeit etc.) spielten, so erwächst hieraus dennoch die Motivation, fahrzeugseitig eine optimale Sicht zu gewährleisten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Sicht in einem Fahrzeug von eklatanter Bedeutung für eine sichere Fahrzeugführung und somit Bestandteil der aktiven Fahrzeug-Sicherheit ist und Sichtbedingungen – insbesondere jene, die durch die Fahrzeuggestaltung beeinflusst werden – optimiert werden sollten.

Wird das Fahrzeug gemäß vorangegangener Betrachtung als umgebendes Element des Fahrers nun näher beleuchtet, wird jedoch das Konfliktpotential für eine erfolgreichen Umsetzung möglichst optimalen Außensichtverhältnissen während der Fahrzeugentwicklungsprozess deutlich. Der gesamte Fahrzeugentwicklungsprozess ist geprägt durch eine hohe Anforderungsdichte. Neben technischen Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt, die in sich u.U. Zielkonflikte darstellen können, wirken Zeit-, Kosten- und Erfolgsdruck. Die ergonomische Gestaltung von Fahrzeugen steht immer auch in Wechselwirkung mit anderen Anforderungen, sodass jedes Fahrzeug bzgl. der Ergonomie zwangsläufig einen Kompromiss darstellt. So ist auch die Sichtgestaltung einem Spannungsfeld konkurrierender - teils konträrer - Anforderungen ausgesetzt. Potentiell enthält jede Anforderung, deren Umsetzung mit Eingriffen in die Geometrie der Fahrzeugkarosserie einhergeht, Konfliktpotential mit der Sicht (vgl. Abbildung 1.3).



Abbildung 1.3: Anforderungen auf die Karosseriegestaltung und Einflussfaktoren auf die Sichtgestaltung im Fahrzeug

Folgende Einflussfaktoren haben sich in der Praxis als wesentlich für die Sichtgestaltung erwiesen:

Passive Sicherheit

Unter der passiven Fahrzeugsicherheit wird die Gesamtheit aller Systeme und Maßnahmen zusammengefasst, die der Milderung der Unfallfolgen dienen sollen. Insbesondere sind dies Schutzsysteme wie die verstärkte Fahrgastzelle, die dem Fahrer im Falle eines Unfalls den Überlebensraum sichert. Die dazu notwendigen Verstärkungen sowie die Unterbringung von Airbagsystemen an den Säulen beeinflussen die Sichtbedingungen tendenziell negativ. So begünstigen verstärkte Dachpfostenstrukturen zwar die Crash-Sicherheit, schränken die Sicht des Fahrers und somit ihren Beitrag zur aktiven Sicherheit mitunter ein. Daneben bergen auch erhöhte

Anforderungen des Fußgängerschutzes, denen vielfach mit angehobenen Motorhauben entsprochen wird, Konfliktpotential.

Aerodynamik

Die Aerodynamik eines Fahrzeugs beeinflusst gerade bei höheren Reisegeschwindigkeiten und im stationären Betrieb erheblich den Schadstoffausstoß sowie die Fahreigenschaften eines PKWs, lässt sich aber im wesentlichen nur über die geometrische Gestalt des Fahrzeugs beeinflussen und steht damit ebenfalls in Wechselwirkung mit den Sichtbedingungen. Dies drückt sich beispielsweise durch flachere, längere Windschutzscheiben aus, welche steifere Dachsäulenstrukturen benötigen und häufig sogenannte A/A2-Säulen-Konstruktionen mit noch größerem Verdeckungsbereich nötig machen. Aber auch die Sicht nach hinten kann aufgrund aerodynamischer Anforderungen an einen kleinen Abrissquerschnitt beeinträchtigt werden, was sich wiederum in schmalen, niedrigen Heckfenstern äußern kann.

Design

Das Außendesign von Fahrzeugen gewinnt als Differenzierungsmerkmal und Verkaufsargument immer mehr an Bedeutung. Es definiert sich über die Außenkontur bzw. die Fahrzeugkarosserie als Ganzes und ist demnach der wesentliche Reibungspunkt mit der Sichtgestaltung. Speziell der Trend zu sportlichem Design, der sich häufig durch eine zum Fahrzeugheck hin ansteigende Gürtellinie auszeichnet verursacht häufig schlechte Sicht nach (schräg) hinten.

Raumverhältnisse / Integration von Aggregaten und Systemen

Die zunehmende Zahl von Komfortfunktionen, neuer Sicherheitstechnologien und deren notwendige Unterbringung im Fahrzeug erzeugt Platzprobleme und kann einer sichtoptimalen Gestaltung und Platzierung von einzelnen Bauteilen entgegenstehen. Beispielhaft sei hier der sehr knapp bemessene Motorraum genannt. In Verbindung mit der Forderung eines verbesserten Fußgängerschutzes nach größeren horizontalen Abständen zwischen harten Motorstrukturen und der Haube als Knautschzone führt dies zu einer Anhebung der Haube und somit zu einer verschlechterten Sicht nach vorne unten.

Gleichteilgebrauch zur Kostenreduzierung

Im Rahmen globaler Fahrzeugprojekte werden häufig Gleichteilstrategien zur Kostensenkung und Gewinnmaximierung angewandt. Hierbei kommen häufig Teile zum Einsatz, die gleichzeitig den Anforderungen unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte und -größen, sowie uneinheitlichen technologischen Möglichkeiten der verschiedenen Produktionsstandorte gerecht werden müssen.

Die genannten Anforderungen und deren Integration ins Fahrzeug können im Entwicklungsprozess mit mehr oder weniger objektiven, validierten oder zumindest allgemein anerkannten Messwerten oder Beurteilungsgrößen quantifiziert werden, oder sind mit entsprechenden Methoden sogar erlebbar (Design) und damit argumentativ einfacher vertretbar. Die Gestaltung und Beurteilung der Sicht hingegen stützt sich in frühen Phasen häufig auf schwer vermittelbare Messwerte (z.B. Winkel

in 2D-Schnitten), deren Tragweite Entscheidungsträgern oftmals schwer vermittelbar ist, und deren Aussagewert und Validität zudem angezweifelt werden darf. Die Verfügbarkeit von Subjektivurteilen anhand realer Modelle ist häufig an lange Rüstzeiten und hohe Kosten im Vorfeld gebunden, was einerseits die Bandbreite der Entscheidungsbasis schmälert bzw. zeitlich derart kritisch sein kann, dass die Auswirkungen der Beurteilung nicht mehr voll auf das Produkt angewendet werden können. Eine frühzeitige Integration der subjektiven Sichtbeurteilung mittels virtueller Methoden in die Produktentwicklung ist daher anzustreben, der Validitätsnachweis bzgl. der Übertragbarkeit der Beurteilungsergebnisse für die Sicht in einem realen Fahrzeug ist jedoch noch zu erbringen.

Getrieben durch jene Zielkonflikte zeigen reale Fahrzeuge der 2000/2010er Jahre oftmals verkleinerte Fensterflächen, massivere Dachsäulen und subjektiv schlechter empfundene Sichtbedingungen als ältere Fahrzeuge etwa der 1960er und 70er Jahre. Vor allem die Sicht nach hinten in Parkier- oder Rangiersituationen aber oftmals auch die Sicht im Bereich der A-, B- und C-Säulen wird beanstandet. So wird in populärwissenschaftliche Veröffentlichungen bzw. in den Medien generell vermehrt von „Schießscharten“ anstelle ausreichender Fenster- und Durchsichtsflächen berichtet. Bereits die Verwendung solcher Begriffe deutet auf den stark subjektiv geprägten Charakter diesen Aussagen zugrundeliegenden Beurteilungen. Die Objektivierung der Güte der Sichtverhältnisse anhand reproduzierbarer, belastbarer oder gar valider Methoden und Kriterien ist erheblich schwieriger. Im Hinblick auf die wachsende Komplexität und die angesprochene, starke Anforderungsverflechtung im Fahrzeugentwicklungsprozess ist eine besser objektivierbare Sichtbeurteilung aber nötig um o.g. Trend entgegenzuwirken.

Der Kern der Beurteilungsproblematik der Sichtbedingungen liegt jedoch, soviel kann an dieser Stelle vorweggenommen werden, in der Beantwortung der Frage, was „gute Sichtbedingungen“ sind. Wissenschaftliche Abhandlungen darüber lassen bisher nur den Schluss zu (REMLINGER 2000), dass die Sichtbedingungen dann umso besser sind, je kleiner die unverdeckte Fläche ist, je weniger sichtverdeckende Bauteile vorhanden sind und je schmaler ein einzelnes verdeckendes Bauteil ist. Diese „Regeln“ erscheinen einleuchtend wie trivial, stellen jedoch die Fahrzeugentwicklung, die auf die Vorgabe harter, quantifizierbarer Kriterien - mitunter im Millimeterbereich - angewiesen ist, vor Argumentations- und somit Umsetzungsprobleme. Um hier Abhilfe zu schaffen, müssten valide Methoden entwickelt und angewendet werden, die einerseits die subjektiv erfahrbaren Auswirkungen weiterer Einflussfaktoren auf die Sicht in einem frühen Entwicklungsstadium erkennbar machen bzw. objektive Maße zur Beurteilung und Kompromissfindung bereitstellen.

1.2. Abgeleitete Fragestellung

Um der Bedeutung der Sicht für die Fahrzeugführung zu genügen, bedarf es besserer Methoden mit belastbareren Kriterien. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, eine verbesserte Methode zur Beurteilung der Sichtverhältnisse in Fahrzeugen sowohl im Rahmen des Entwicklungsprozesses als auch im späteren Serienfahrzeug zu entwickeln.

Grundlegend hierfür ist es, gute Sicht zu definieren. Was macht gute Sicht aus, wie lässt sie sich messen und wie lassen sich Messwerte hinsichtlich einer Aussage über die Güte der Sichtverhältnisse interpretieren oder gar kategorisieren, um nicht zuletzt gegenüber anderer konkurrierender Anforderungen im Entwicklungsprozess besser bestehen zu können. Wie im folgenden Kapitel dargestellt, sind verfügbare Methoden meist entweder auf eine subjektive Beurteilung durch Probandenkollektive oder Experten angewiesen oder lassen bei objektiv ermittelten bzw. physikalisch gemessenen Sichtbewertungskennzahlen den Realitätsbezug, bzw den Aussagewert bzgl. der Fahrzeugführung unklar.

Die Suche nach einer realitätsbezogenen, nachvollziehbaren, im Entwicklungsprozess handhabbaren Bewertungsmethode soll daher als die zentrale Frage der vorliegenden Arbeit abgeleitet werden. Dies soll durch die Erhebung eines entsprechenden Kriterienkatalogs für die Außensicht des Fahrzeugführers erfolgen. Dieser Katalog erfordert zunächst eine systematische Einteilung und datenbasierte Gewichtung der Rundumsicht, um dann anhand einzelner Untersuchungen des spezifischen Sichtbedarfs innerhalb der entstandenen Teilbereiche als späteres Kriterium erhoben zu werden.

1.3. Aufbau der Arbeit

Der Einleitung folgt im Kapitel 2 „Stand der Forschung und Technik“ ein kurzer Abriss der wesentlichen Grundbegriffe und Funktionsweisen des visuellen Sinneskanals bzw. der visuellen Informationsaufnahme bevor zentrale Begriffe der Arbeit definiert und erläutert werden. Anschließend folgt eine umfassende, systematische Analyse vorhandener Methoden zur Sichtbeurteilung die sich von virtuellen bis physikalischen sowie subjektiven bis objektiven zahlenbasierten Methoden erstreckt. Hierbei werden neben gesetzes- bzw. zulassungsprüfungsrelevante auch nichtgesetzesrelevante Methoden von Verbraucherorganisationen und Medienorganen analysiert und bewertet. Aus einer zusammenfassenden Defizitbetrachtung leitet sich ein Forschungs- und Entwicklungsbedarf für valide, nachvollziehbare und handhabbare Beurteilungsmethoden ab, wobei sich die zu entwickelnden Methoden am Erfüllungsgrad des ebenso zu ermittelnden Fahrersichtbedarfs orientieren sollen. Diesem Ansatz entsprechend folgt eine unfalldatenbasierte Unterteilung und Gewichtung der Rundumsicht in die drei Hauptsichtbereiche „Frontsicht“, „Seitensicht“ und „Hecksicht“, die sich auf ein Gesamtkollektiv betrachteter Unfallereignisse von $N = 20130$ in einem Zeitraum von 1999 bis 2009 stützt. Maßgebend bei der Unfalldatenanalyse sind sog.

Unfalleinflussfaktoren, die für die verwendete Unfalldatenquelle vorliegen und in Verbindung mit zusätzlichen Befragungen der Beteiligten letztlich eine quantifizierbare Identifikation jener Sichtbereiche zulassen, innerhalb derer ein visuelles Informationsdefizit unfallverursachend war. Innerhalb der so abgegrenzten Teilsichtbereiche wird anschließend in den Kapiteln 4, 5 und 6 sukzessiv der teilbereichsspezifische Sichtbedarf ermittelt und es werden jeweilige Methoden zur konkreten Beurteilung der Sichtverhältnisse unter Verwendung des ermittelten Sichtbedarfs entwickelt. Hierbei kommen je nach Sichtbereich unterschiedliche Untersuchungsansätze und -methoden zum Einsatz. Dem Frontsichtbereich wird in Kapitel 4 hierbei gemäß seiner aufgezeigten Dominanz der größte Aufwand zur Sichtbedarfsbestimmung zuteil. Das tatsächliche Fahrerverhalten in ausgewählten Situationen wird hierbei in Form von Blickzuwendungsverteilungen zum Indikator des situationsspezifischen Sichtbedarfs und mittels eines nachgelagerten Superpositionsansatz zu einem für die gesamte Frontsicht gültigen Sichtbedarf aggregiert. In Kapitel 5 dient eine dynamische Probandenversuchsreihe im realen Straßenverkehr zur Durchführung einer Parameterstudie der B-Säule, die zuvor als klar dominantes Bauteil bzgl. Seitensichtbeeinträchtigung identifiziert wird. Anhand dieser Versuche werden Akzeptanzbereiche bestimmt, die sich in spätere Fahrzeugprojekte übertragen lassen sollen. Für die Bestimmung des Hecksichtsichtbedarfs wird in Kapitel 6 in Fernbereichs- und Nahbereichssichtbedarf unterschieden und dementsprechend zwei Sollsichtbereiche definiert. Für den rückwärtigen Fernsichtbedarf wird hierbei auf vorhandene Untersuchungen aus der Literatur zurückgegriffen, während für den rückwärtigen Nahsichtbedarf theoretische Betrachtungen des fahrzeugspezifischen Bewegungsvermögens und der Erreichbarkeit rückwärtigen Bodenflächen in typischen Manövern zugrundegelegt wird. In Kapitel 7 zeigt die exemplarische Anwendung der entwickelten Methoden auf ein existierendes Fahrzeug die Anwendbarkeit der einzelnen Methoden und stellt gleichzeitig dar, wie unter Verwendung der gewichteten Unterteilung der Rundumsicht die Erfüllungsgrade der Teilsichtbedarfe in den Teilsichtbereichen zu einer Gesamtbeurteilung der Rundumsicht verwendet werden können. Abschließend erfolgen die Diskussion und kritische Betrachtung von Vorgehensweise und Ergebnissen bevor in ein Ausblick auf weiterführende Untersuchungen u.a. zur Validierung der aufgezeigten Methodik gegeben wird.

2. Stand der Forschung und Technik

Im folgenden Kapitel werden zunächst physiologische Grundlagen des Sehapparates geklärt, bevor der Stand von Forschung und Technik hinsichtlich existierender Sichtbeurteilungsmethoden erörtert wird. Dabei wird in einer Systematisierung zwischen gesetzes- und nichtgesetzesrelevanten sowie zwischen subjektiven und objektiven bzw. physikalischen und virtuellen Methoden unterschieden. Abschließend folgt anhand einer Gegenüberstellung eine Defizitanalyse.

2.1. Informationsaufnahme über den visuellen Sinneskanal

Auch wenn die Wahrnehmung bzw. die Perzeption der visuellen Reize und enthaltenen Informationen erst stattfinden kann, wenn der oben beschriebene Filter „Fahrzeug“ passiert wurde, so ist es doch unabdingbar, die physiologischen Zusammenhänge des menschlichen Auges bzw. die Handlungsmöglichkeiten des Menschen zu kennen, die die Informationsaufnahme erst ermöglichen. Daher sollen sie im weiteren Verlauf betrachtet werden.

Ein visueller Reiz trifft auf das Auge, wobei das eintretende Licht zunächst Hornhaut (Cornea) und Pupille (Öffnung der Iris) durchdringt, in der Linse gebrochen und schließlich auf die Netzhaut (Retina) projiziert wird (SCHLICK, BRUDER, LUCZAK 2010, 317). Zwei Arten von Fotorezeptoren (Stäbchen und Zapfen) sitzen in der Netzhaut, die das Lichtereignis verarbeiten und den Reiz als Erregung weiterleiten. Ihre Eigenschaften, Anzahl und Verteilung auf der Netzhaut sind sehr unterschiedlich: Während Stäbchen hochgradig lichtempfindlich sind und mit 120Mio sechsmal stärker auf der Netzhaut vertreten sind, sind Zapfen für die Farbwahrnehmung zuständig und konzentrieren sich im sog. gelben Fleck (EYSEL 2007, 380-393, 398-417). Je nach Ort, an dem ein Objekt auf der Retina abgebildet wird, wird foveales und peripheres (parafoveales) Sehen unterschieden (vgl. COHEN 1984, 84). Foveales Sehen liegt vor, wenn die Projektion des Objektes im gelben Fleck bzw. in dessen Zentrum, der Fovea Centralis liegt. Wegen der hohen Konzentration an Zapfen in der Fovea ist nur in einem Bereich von 2° um diese herum scharfes Sehen möglich. Mit zunehmendem Abstand zur Fovea nimmt das Scharfsehen ab, wohingegen dort aufgrund der großen Zahl von Stäbchen die Kontrastempfindlichkeit und damit die Wahrnehmung von Bewegungen und Helligkeitsänderungen zunehmen (vgl. ABENDROTH et al. 2009, 6, 13 und HUDELMAIER 2002, 20).

Es liegt nahe, dass diese Funktionsallokation eine Entsprechung im Blickverhalten findet. Das Zusammenspiel von fovealem und peripherem Sehen und das generelle Blickverhalten werden daher im Folgenden erläutert.

Um mit dem Auge zuverlässig Objekte, Bewegungen, Farben sowie räumliche Tiefe und Größe wahrnehmen zu können, muss das Auge die Fähigkeit besitzen zu *adaptieren* (Anpassungsvorgang an verschiedene Leuchtdichteniveaus), zu *akkommodieren* (Einstellung zur Anpassung der Sehentfernung) sowie die Augen selbst zu bewegen. Letztgenannte Augenbewegungen werden wiederum in Fixationen, Sakkaden und Folgebewegungen untergliedert (vgl. SCHLICK, BRUDER, LUCZAK 2010,

407-408). Als Fixation wird das gezielte Betrachten eines Objekts zur Informationsaufnahme mit der Fovea bezeichnet. Während der Fixationsdauer kommt es zu keinem Blickwechsel, d.h. keiner sprunghaften Augbewegung. Um ein sich relativ zum Auge bewegendes, vom Auge fixiertes Objekt zu verfolgen, führt das Auge während der Fixation autonome, relativ langsame und gleitende Bewegungen aus, die entsprechend als Folgebewegungen bezeichnet werden (vgl. COHEN 1998, 22). Typische Fixationsdauern liegen zw. 0,25 und 0,8 Sekunden, wobei Ermüdung und Monotonie diese verlängern können (vgl. YARBUS 1967, 111). Der Sprung von einem Fixationspunkt zum nächsten wird Sakkade genannt und ist die häufigste Augenbewegung. Es handelt sich um schnelle, sprunghafte Bewegungen mit dem nächsten Fixationspunkt als Ziel, während derer keine Information aufgenommen wird. Sakkaden sind von sehr kurzer Zeitdauer (bis zu 0,07 Sekunden) und kurzer Weite (i.d.R. $< 15^\circ$). Bei weiter entfernten Fixationen werden entweder mehrere Sakkaden hintereinander ausgeführt oder der Kopf selbst wird mitbewegt. Sakkaden werden als ballistische Bewegungen bezeichnet, die, einmal in Gang gesetzt, nicht mehr zu kontrollieren sind, bis das anvisierte Ziel erreicht ist. Die zeitliche Aufteilung von Sakkade zu Fixation beträgt etwa 5% zu 95% (vgl. HÖFNER et al. 1973, 230, BOGGESS et al. 2008, 7). Die als Blickverhalten bezeichnete Aneinanderreihung von Fixationen und dazwischenliegenden Sakkaden (COHEN 1998, 20) ist ein komplexer Prozess, der von der Aufmerksamkeit beeinflusst wird und bei dem sowohl die Eigenschaften des fovealen als auch peripheren Bereiches der Retina zur Anwendung kommen (vgl. HÖFNER et al. 1973, 230). Während der Fixation passiert die Informationsaufnahme über die Fovea (COHEN 1984, 11). Der Ort der folgenden Fixation wird nun nicht zufällig angesteuert, sondern während der aktuellen Fixation mit einem Teil der Aufmerksamkeit aus dem peripheren Sehbereich ausgewählt (vgl. HOFFMAN et al. 1995, 793 und COHEN 1998, 22), dessen räumliche Ausdehnung den der Fovea erheblich übertrifft. Während der foveale Bereich mit der Fixation beschäftigt ist (COHEN 1984, 63), muss ein Objekt im peripheren Sehbereich erst die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt haben, bevor es fixiert wird. Die Aufmerksamkeit bildet gewissermaßen das Bindeglied zwischen Auge und Wahrnehmung. Ohne diese Orientierung der Aufmerksamkeit auf den zukünftigen Fixpunkt kann keine Sakkade zu diesem programmiert werden (vgl. HOFFMAN et al. 1995, 787, 793). Der Aufbau der Retina lässt sich also als ein „Weitwinkel-Frühwarnsystem“ ansehen, das es einem ausreichend starken peripheren Stimulus ermöglicht schnellstmöglich zur genaueren Untersuchung fixiert zu werden (vgl. THOMAS 1968, 91 und HÖFNER et al. 1973, 231).

Die Nutzbarkeit des peripheren sowie des fovealen Sehens ist an Grenzen gekoppelt, die in der Beanspruchung des Fahrers liegen. Nach COHEN, HIRSIG (1990) spielt das periphere Sehen mit zunehmender visueller Beanspruchung eine immer unwichtigere Rolle.

Untersuchungen mit Blickbewegungsanalysesystemen (vgl. HUDELMAIER 2003, 31) bekräftigen dies anhand des beobachteten Zusammenhangs zwischen Blickaktivität und Verkehrskomplexität. Mit zunehmender Komplexität der Verkehrssituationen nimmt die Blickaktivität zu, was darauf schließen

lässt, dass zur Informationsaufnahme der foveale Bereich ausgerichtet werden muss, da der periphere Bereich mit der Informationsaufnahme aufgrund der Situationskomplexität stark gefordert ist.

Weitere relevante Aspekte der physiologischen Grenzen der visuellen Informationsaufnahme sind z.B. in SCHWEIGERT 2003 zusammengetragen. Beispielsweise ist die maximale Blickfolgebewegung zu nennen, die nach GRÜSSER et al (1987, zitiert in SCHWEIGERT 2003) nur bis ca 60°/s möglich ist und somit eine räumliche Einschränkung der Position von Objekten in der Fahrumgebung bedingt, die ein Fahrer in Abhängigkeit von dessen Relativgeschwindigkeit zum Objekt durch eine Blickanheftung visuell verfolgen kann (entspr. Abb. siehe SCHWEIGERT 2003, S. 8).

Desweiteren ist im Zusammenhang mit Aufnahmefähigkeit visueller Informationen bzgl. ihrer Lokalisation der Bereich des *Gesichtsfeldes*, *Blickfeldes* und *Umblickfeldes* zu unterscheiden. Bei Ersterem handelt es sich lediglich um den Bereich, der mithilfe des fovealen und peripheren Sehens bei statischer Augen- und Kopfposition einsehbar ist. Das *Blickfeld* hingegen bezeichnet den Bereich, der sich durch zusätzliche Augenbewegung bei weiterhin fixierter Kopfposition ergibt, während die Umblickhaltung wiederum „die Gesamtheit der fixierbaren Punkte bei bewegten Augen und bewegtem Kopf“ meint“ (SCHWEIGERT 2003).

Darüber hinaus kann zusätzlich das sog. nutzbare Sehfeld abgegrenzt werden, das sich unter Berücksichtigung, und in Abhängigkeit von der kognitiven Beanspruchung in veränderlicher Ausdehnung innerhalb des Gesichtsfeldes ergibt. Hierbei kommen der beschriebene Einfluss der kognitiv-visuellen Beanspruchung und deren Auswirkung auf die Nutzbarkeit des peripheren Sehens zum Tragen.

Im Themenkomplex der Sicht im Fahrzeug wird häufig zwischen monokulare, binokulare und ambinokulare Sicht differenziert. Als „monokulare Sicht“ wird hier das von einem Auge einsehbare Sichtfeld bezeichnet, als „binokulare Sicht“ die Schnittmenge der von beiden Augen (monokular) einsehbaren Bereiche. „Ambinokulare Sicht“ ist die Vereinigungsmenge der von beiden Augen einsehbaren Bereiche.

2.2. Fahrzeugtechnische & fahrzeugergonomische Grundbegriffe

In diesem Kapitel werden die für das Verständnis im weiteren Verlauf der Arbeit nötigen fahrzeugtechnischen und -ergonomischen Begriffe definiert und erläutert, die im Kontext der Sicht im Fahrzeug bzw. der Beschreibung von Sichtbedingungen gebräuchlich sind.

Fahrzeugkoordinatensystem

Um die Geometrie eines Fahrzeugs (Fzg), die Lage seiner einzelnen Bauteile zueinander und insbesondere die Position eines Fahrgastes innerhalb eines Fahrzeugs beschreiben zu können, bedarf es der Einführung eines Koordinatensystems (Abbildung 2.1).

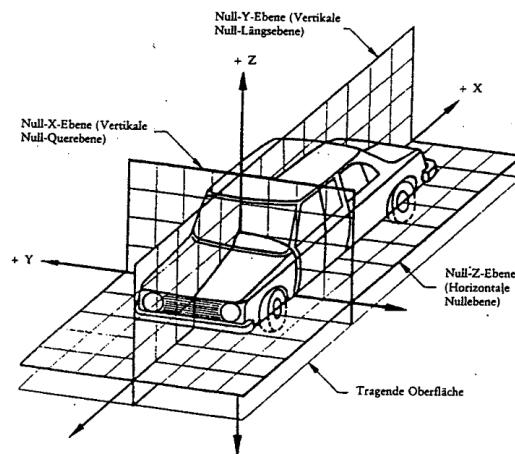


Abbildung 2.1: Fahrzeugkoordinatensystem (ECE R125)

Die Fzg-z-Achse steht senkrecht und definiert die Höhe des Fahrzeugs, während die Fahrzeuglänge in der X-Koordinate und die Fahrzeugbreite in der Y-Koordinate gemessen wird. Der Koordinatenursprung wird bei verschiedenen Fahrzeugherstellern unterschiedlich und mitunter sogar programmspezifisch gewählt, der Y-Achsenursprung befindet sich aber meist in der X-Z-Mittelebene des Fahrzeugs.

Sichtrelevante Fahrzeugbauteile

Ein zentrales Bauelement des Fahrzeugs mit einem hohen Sichtbeeinträchtigungspotential für den Fahrer sind die Dachsäulen. Je nach Karosseriebauart kommen sie in unterschiedlichen Konfigurationen vor, werden jedoch stets von vorne nach hinten mit Buchstaben durchnummeriert. Der vordere Dachpfosten wird A-Säule genannt, der Anbindungsbereich der A-Säule an die Fahrzeugkarosserie als „A-Säulen-Wurzel“ bezeichnet. A-Säulen können als „herkömmliche“, einfache A-Säule ausgeführt sein oder als A-Säulenpaar (pro Seite) ein zusätzliches Dreiecksfenster beherbergen. In diesem Fall wird in A1-/A2“-Säule unterschieden. Die Dachsäule hinter der Fahrertür wird B-Säule, die Säulen hinter den Hecktüren wiederum werden C-Säulen genannt (vgl. Abbildung 2.2). Hat das Fahrzeug ein weiteres hinteres Seitenfenster, das nicht in die Türe integriert ist, wird das hinterste, vierte Säule-Paar D-Säule genannt (z.B. bei Kombinationskraftwagen, vgl. Abbildung 2.2, rechts).

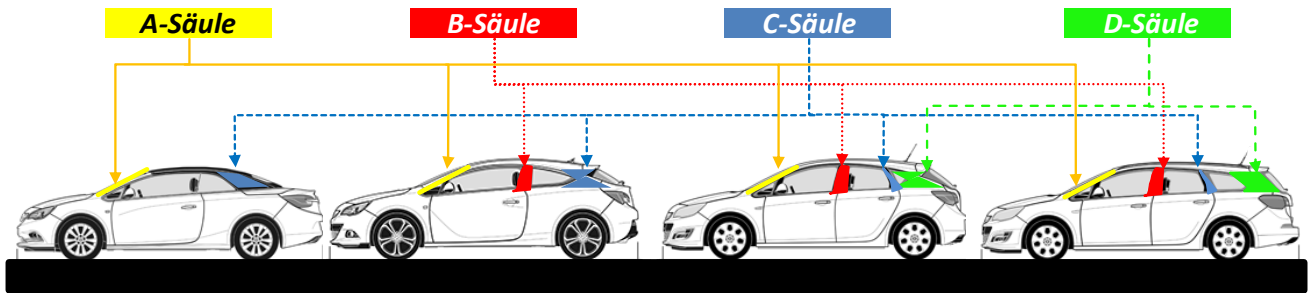


Abbildung 2.2: Position A-/B-/C-/D-Säulen in unterschiedl. Fahrzeugtypen (eig. Darstellung, Fahrzeug-Ausschnitte: © GM Company)

Als weitere sichtrelevante Bauteile sind das Dach als Sichtbegrenzung nach oben, die sog. Gürtellinie (untere Begrenzung der Fensterflächen seitlich sowie am Heckfenster), die Außen- und Innenspiegel sowie die Sitzanlage insbesondere inklusive der Kopfstützen zu nennen.

Positionierungsmaße des Fahrers im Fahrzeug

Für die Integration des Menschen, insbesondere des Fahrers, in das Fahrzeug werden bestimmte Positionierungsmaße verwendet, die die Lage des menschlichen Körpers im Fahrzeug darstellen. Sie sind damit zur ergonomischen Gestaltung allgemein und für die Gestaltung der Sichtverhältnisse im besonderen von wesentlicher Bedeutung. Grundlegend sind hierbei der sog. „Accelerator Heal Point“ (AHP) und „Ball Of Foot Reference Point“ (BoFRP) (SAE J941 R2008, Abbildung 2.3, rechts) zu nennen. Anders als der Sitz und das Lenkrad ist bei der überwiegenden Mehrheit der Fahrzeuge die Pedalerie nicht verstellbar, sodass diese Punkte als einzig wirkliche Fixpunkte zur Positionierung des Fahrers im Fahrzeug betrachtet werden können.

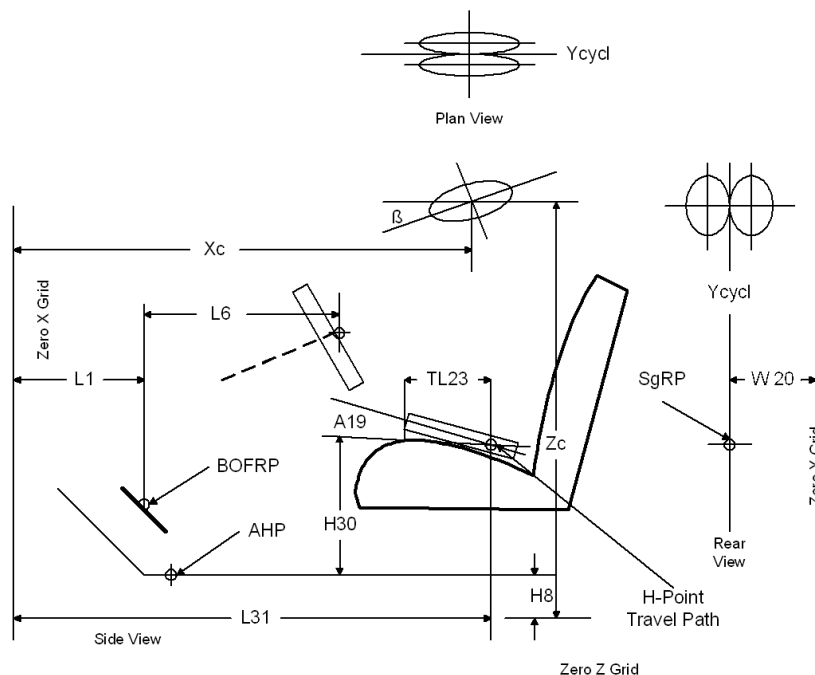


Abbildung 2.3: Lage der Positionierungsmaße Augellipse, SgRP, AHP, BOFRP und des H-Punktverstellfeldes des Sitzes im Fahrzeug (gemäß SAE J941 R2008)

Die Fahrzeughersteller definieren relativ dazu das H-Punkt-Verstellfeld sowie innerhalb dessen die Lage des sogenannten „Seating Reference Point“ (SgRP) von dem ausgehend wiederum die Lage der Augellipse bestimmt wird. Die Augellipse stellt ein wesentliches Auslegungswerkzeug zur Berücksichtigung der Sicht im Rahmen der grundlegenden Fahrzeugkonzeptauslegung dar. Sie geht zurück auf Reihenmessungen aus den 1960er Jahren (MELDRUM 1963) und beschreibt die zu erwartenden Augpunktlagen des Fahrerkollektivs. Der SgRP stellt einen der wesentlichen Parameter bei der Fahrzeugkonfiguration dar, da an ihm viele typzulassungsrelevante Messverfahren orientiert und definiert sind.

Fahrzeugsichtergonomische Grundbegriffe

Neben den bisher aufgeführten Grundbegriffen der Fahrzeugtechnik, die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit geklärt werden müssen, gibt es eine Reihe spezieller Definitionen und Termini aus dem Themenkomplex der Sicht im Fahrzeug, die im folgenden erläutert werden sollen.

- **Sichtwinkel**

Als Sichtwinkel wird der Winkel bezeichnet, der zwischen einer Referenzebene und einer Sichtlinie gemessen wird. Insbesondere kann zwischen horizontalem und vertikalem Sichtwinkel(anteil) unterschieden werden. Im Rahmen der Arbeit werden die horizontale und vertikale Fahrzeugmittelebene (vgl. Abbildung 2.1, S.12) verwendet.

- **Öffnungswinkel**

Der Öffnungswinkel ist der horizontale Winkel zwischen vertikaler Längsmittlebene und der horizontalen Sichtlinien tangential an den inneren A-Säulenrand (vgl. Abbildung 2.4)

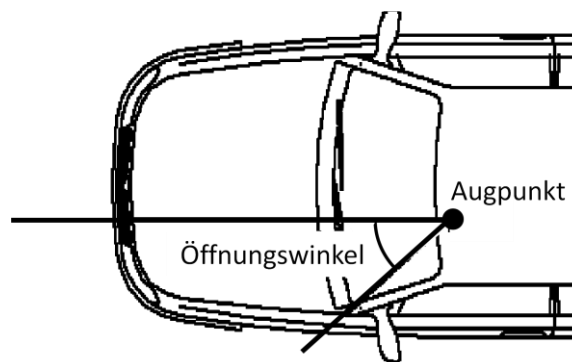


Abbildung 2.4: Definition des sog. Öffnungswinkels der A-Säule (eigene Darstellung).

- **Direkte vs. Indirekte Sicht**

Grundsätzlich wird zwischen direkter und indirekter Sicht im Fahrzeug unterschieden. Direkte Sicht meint die Sicht ohne Hilfsmittel direkt auf das betrachtete Objekt (z.B. Sicht auf Ampel). Indirekte Sicht meint die Sicht unter Verwendung von Hilfsmitteln wie Innen- oder Rückspiegeln bzw. Kamerasystemen.

2.3. Methoden zur Sichtbeurteilung

Während sich aus den 1960er und 70er Jahren zahlreiche Quellen (u.a. BARNOWSKI 1970, ROCKWELL 1972, MORTIMER 1972) finden, die sich mit dem Thema Sichtbedingungen im Fahrzeug und deren Beurteilung anhand sehr umfangreicher wissenschaftlicher Untersuchungen befassen und auch entsprechend aufwändige Methoden zur Beurteilung darstellen (BARNOWSKI 1970), sind aktuell etablierte/verwendete Verfahren vielfach sehr einfach gehalten. Neben der Wissenschaft sind aber auch die Hersteller selbst, gesetzgebende Instanzen und Verbraucherorganisationen mit Beurteilungsverfahren vertreten. Im folgenden Kapitel wird der Stand der Technik zur Fahrersicht systematisiert und analysiert, sowie der in dieser Arbeit aufgegriffene Forschungsbedarf motiviert.

Aufgrund der Relevanz der Sicht für die aktive Fahrzeugsicherheit, existieren eine Reihe gesetzlicher Vorgaben, die ein Fahrzeug bei der Typzulassung hinsichtlich der Außensichtbedingungen erfüllen muss. Da die Sicht aber auch einen Einfluss auf den vom Fahrer als Kunden subjektiv wahrgenommenen (Dis-)Komfort besitzt und somit u.U. die Kaufentscheidung beeinflussen kann, sind weitere Methoden sowohl in der Fahrzeugentwicklung bei den Herstellern als auch bei Verbraucherorganisationen und Medien etabliert.

Auf beide Kategorien soll im Folgenden eingegangen werden. Dabei wird grundsätzlich zwischen objektiven und subjektiven, physikalischen und virtuellen Sichtbeurteilungsmethoden unterschieden.

2.3.1. Gesetzliche Rahmenbedingungen und Richtlinien

Bei der Typzulassung eines neuen Fahrzeugs müssen unterschiedliche Rechtsvorschriften und Regelungen berücksichtigt werden (Abbildung 2.5 zeigt die wesentlichen weltweiten Gesetze und Gestaltungsrichtlinien).

<u>Sichtfeld:</u> <ul style="list-style-type: none">• StVZO §35b <i>Mindestsichtfeld vordere 180°</i>• SAE J1050a <i>Beschreibung & Messung des Fahrersichtfeldes</i>• ECE R125 <i>Mindestsichtfeld vorne, Verdeckungen</i>	<u>Scheibenwischer:</u> <ul style="list-style-type: none">• FMVSS 104• ISO 3469• EWG 78/318• ADR 16• JSRA 45	<u>Rückspiegel:</u> <ul style="list-style-type: none">• StVZO § 56• ECE R46• 2003/97/EWG• FMVSS 111• ADR 14• JSRA 44
<u>Windschutzscheiben-Entfrosterung/Belüftung:</u> <ul style="list-style-type: none">• EWG 78/317• ISO 3468 & 3470• FMVSS 103	<u>Sicherheitsglas:</u> <ul style="list-style-type: none">• ECE R 43• ISO 3538• FMVSS 205• ADR 29	<u>Schattenbänder:</u> <ul style="list-style-type: none">• SAE J100

Abbildung 2.5: Überblick der weltweiten Gesetze und Normungen zur Sicht im Fahrzeug (aktualisiert in Anlehnung an HUDELMAIER 2003)

Für den europäischen Markt sind die *EG/ECE*-Richtlinien maßgebend, die auch in einigen nichteuropäischen Ländern Anwendung finden (AUS, JPN, China). Auf dem nordamerikanischen Markt (USA, CND) sind die sog. *Federal* bzw. *Canadian Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS, USA; CMVSS, CND) zu erfüllen, die sich wesentlich von den ECE-Regelungen unterscheiden. Die Richtlinien der *Society of Automotive Engineers* (SAE) beinhalten keine rechtskräftigen Gesetze, stellen jedoch in der Industrie anerkannte und weit verbreitete Gestaltungshinweise dar, die den Rahmen der gesetzlichen Anforderungen oftmals übersteigen und gerne in der Fahrzeugentwicklung angewendet werden. Zulassungsrelevante Regelwerke und Gesetze (zur Fahrersicht) dienen der Sicherstellung von (fahr)sicherheitsrelevanten Mindestanforderungen und sollten dabei stets erfüllbar und überprüfbar sein. „Erfüllbar“ meint hier die Verträglichkeit mit anderen, gesetzlich zu erfüllenden Anforderungen und das Vermeiden eines Zulassungsdilemmas. „Überprüfbar“ meint die unter Verwendung entsprechend spezifizierter Prüfmethoden mit vertretbarem Aufwand reproduzierbare Überprüfbarkeit der Gesetzeserfüllung. Damit sind sie einerseits an die technischen Möglichkeiten gebunden, die zum Zeitpunkt der Inkraftsetzung verfügbar sind und andererseits ggf. schwächer formuliert als es bei alleiniger Berücksichtigung des primären Ziels (Fahrersicht) der Fall wäre. Typzulassungsprüfungen können daher ebenso als kompromissbehaftet angesehen werden, wie die Produkte, die ihnen entsprechen sollen.

Die Auswirkungen des Minimalanforderungscharakters zeigen sich u.a. darin, dass auch hinsichtlich der Sicht subjektiv schlecht beurteilte Fahrzeuge den regulären Zulassungsprozess durchlaufen haben müssen und ergo den Gesetzen genügen müssen. Sie eignen sich also bestimmungsgemäß nicht für eine differenzierte Beurteilung sondern lediglich zur Entscheidung über die Zulassungserteilung.

Da gesetzliche Vorschriften zur Sicht aus dem Fahrzeug der Sicherstellung einer adäquaten visuellen Interaktion des Fahrers mit dessen Umwelt dienen, orientieren sie sich folgerichtig grundsätzlich an ergonomischen Charakteristika. Praktisch allen Richtlinien liegen Vorgaben bzw. Abhängigkeiten zur Augenpunktlage zugrunde, von denen aus Angaben und Beziehungen zur Geometrie von Sichtfeldern die gesetzlichen Anforderungen bestimmen, wobei die jeweiligen Augpunktspezifikationen voneinander abweichen.

Im Gegensatz zu Deutschland / Europa existiert in den USA seit Aussetzung des *Federal Motor Vehicle Safety Standards 128* (FMVSS) kein Gesetz zum Mindestsichtfeld, das die geometrische Gestalt der Fahrzeugkarosserie betrifft. Lediglich die nichtrechtverbindliche SAE J1050a gibt als Konstruktionshilfe Messverfahren für horizontale und vertikale Fahrersicht unter Berücksichtigung der Beweglichkeit des Fahrerkopfes vor.

Zunehmend verbreitete Kamerasysteme werden rechtlich in Richtlinien der Gruppe „Rückspiegel“ geführt. Getrieben durch sehr hohe Unfallzahlen von Kleinkindern mit rückwärtsbewegten Fahrzeuge in den USA steht insbesondere hier aktuell eine Überarbeitung der FMVSS111 zur Regelung der

rückwärtigen Sichtverhältnisse unter Berücksichtigung und Reglementierung von Rückfahrkamerasystemen vor der Einführung.

Regelwerke zur Auslegung des Frontsichtbereichs

Ohne bereits an dieser Stelle eine genaue Abgrenzung des Winkelbereiches vorzunehmen lässt sich der „Frontsichtbereich“ als wichtigster, da am häufigsten und in Situationen höchster kinetischen Energie des Ego-Fahrzeugs benötigter, Sichtbereich benennen. Der Frontsichtbereich erfährt Einschränkungen durch die A-Säulen, die Motorhaube bzw. das Armaturenbrett sowie allgemein durch die allseitigen Begrenzungen der Fensterflächen der Front- und Seitenscheiben. Daher definieren entsprechende Gesetze entweder geometrische Grenzwinkel / Grenzabmessungen für Bauteile oder direkt Mindestdurchsichtsflächen um Mindestanforderungen abzubilden.

ECE R125

Die ECE R 125 bzw. 77/649/EWG spezifiziert Sichtbereiche, die nicht von der Fahrzeugstruktur durchdrungen werden dürfen anhand einzelner Sichtstrahlen, Ebenen bzw. Grenzwinkel, die letztlich auf den H-Punkt referenziert sind. So ist beispielsweise ein maximal zulässiger Verdeckungswinkel der A-Säule von 6° gefordert, der als ein auf eine Z-Bezugsebene projizierter Winkel zweier Tangenten aus definierten binokularen Augpunkten an die A-Säule (siehe Abbildung 2.6) definiert ist. Da die beiden Tangenten hierbei in unterschiedlich geneigten Ebenen (Tangente Innenkontur: $+2^\circ$ / Außenkontur: -5°) zur Z-Bezugsebene laufen, tangieren sie die Säulen jeweils an der Frontscheiben- und der Seitenscheibenkontur in unterschiedlichen Schnittlagen (S1, S2).

Grundsätzlich sollten kleinere Messwerte von Verdeckungswinkeln bessere Sichtbedingungen implizieren. Die unterschiedliche Neigung der Tangentenebenen der ECE R 125 begünstigt hier jedoch gerade sehr flach ansteigende A-Säulen-Konstruktionen (schematisch, Abbildung 2.7). Aufgrund der unterschiedlich geneigten Messebenen kann eine steile, schlanke Säule (Variante 1) z.B. einen identischen Verdeckungswinkel nach ECE R125 aufweisen wie eine erheblich flacher jedoch massiver ausgeführte Säule (Variante 2), die in der schematischen Darstellung bereits als eine größer empfundene Sichtverdeckung gedeutet werden kann. Würden beide Tangenten in ein und derselben Ebene an die Säulen angelegt, würden sich die Verhältnisse ins Gegenteil kehren.

Theoretisch kann es vorkommen, dass stark geneigte A-Säulen gar einen negativen Verdeckungswinkel nach ECE R 125 aufweisen (Abbildung 2.7, Variante 3 und Abbildung 2.8). Dies steht in krassem Widerspruch zur *subjektiv* empfundenen Sichtbeeinträchtigung, die bei stark geneigten Säulen vielfach wesentlich stärker ausgeprägt ist.

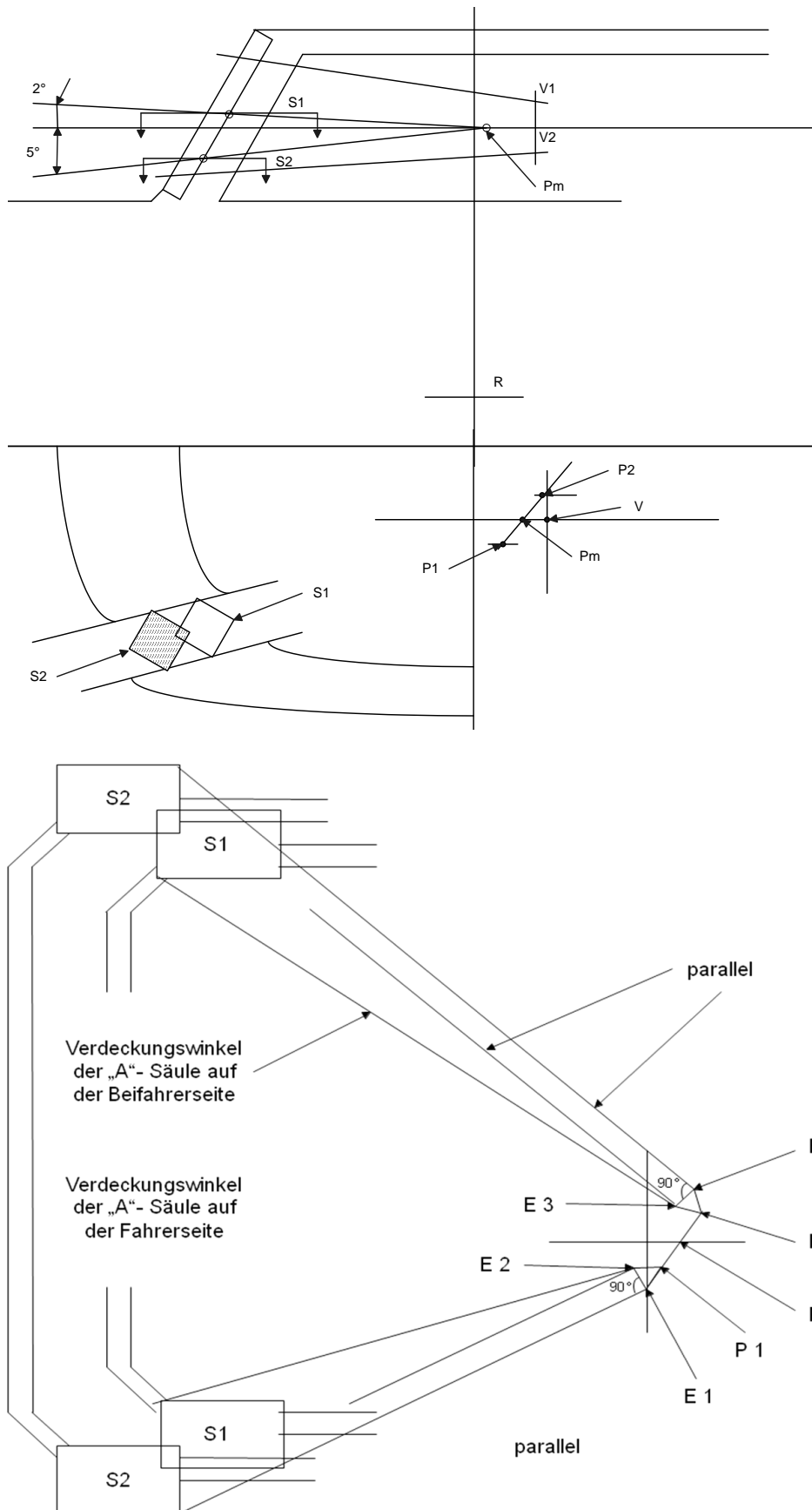


Abbildung 2.6: Grenzsichtstrahlen an der A-Säule gemäß ECE R125. Links: Seitenansicht (oben) des Tangentenverlaufs; Säulenschnitte / Tangenten in der Draufsicht (unten). Rechts: Projizierter Tangentenverlauf zur Bestimmung des gesetzlichen A-Säulenverdeckungswinkels.

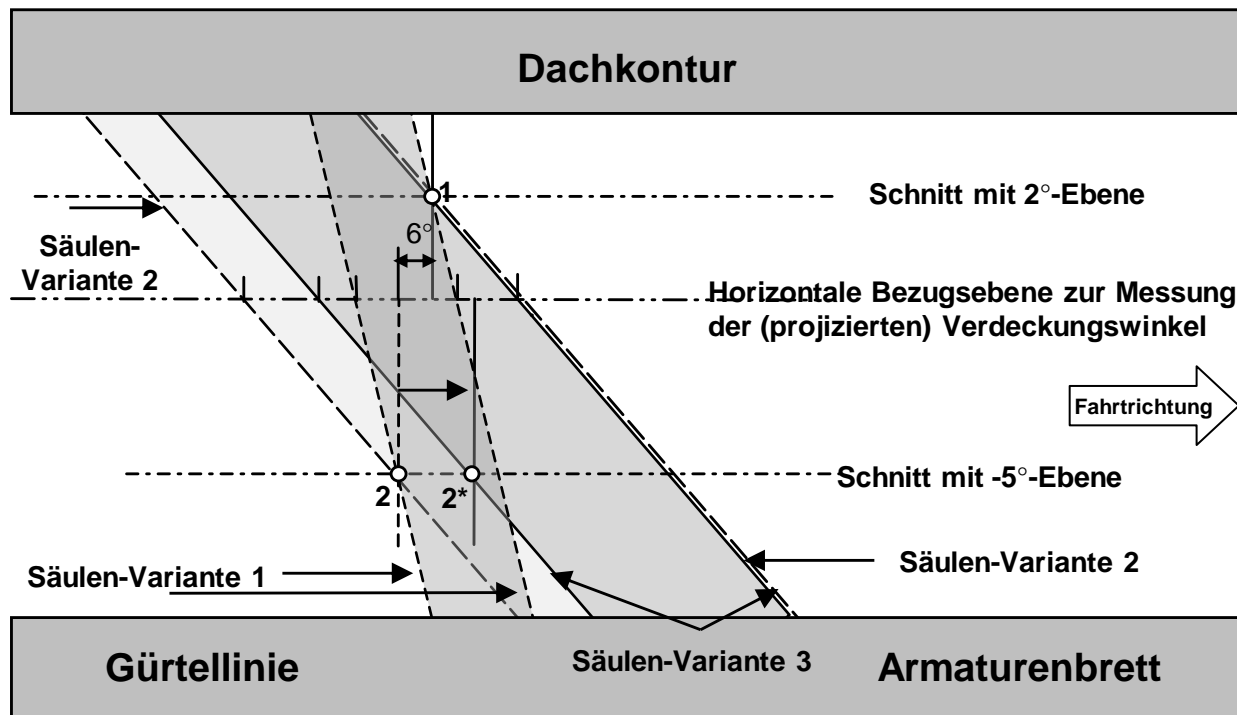


Abbildung 2.7: Schematische Darstellung der Sicht auf die linke A-Säule aus Fahrerperspektive (Fahrtrichtung nach rechts): Vergleich einer schmalen, steilen A-Säule (1) mit einer breiten, stark geneigten A-Säule (2) gleichen Verdeckungswinkels nach ECE R125. Flache Säule mit negativem Verdeckungswinkel (3).

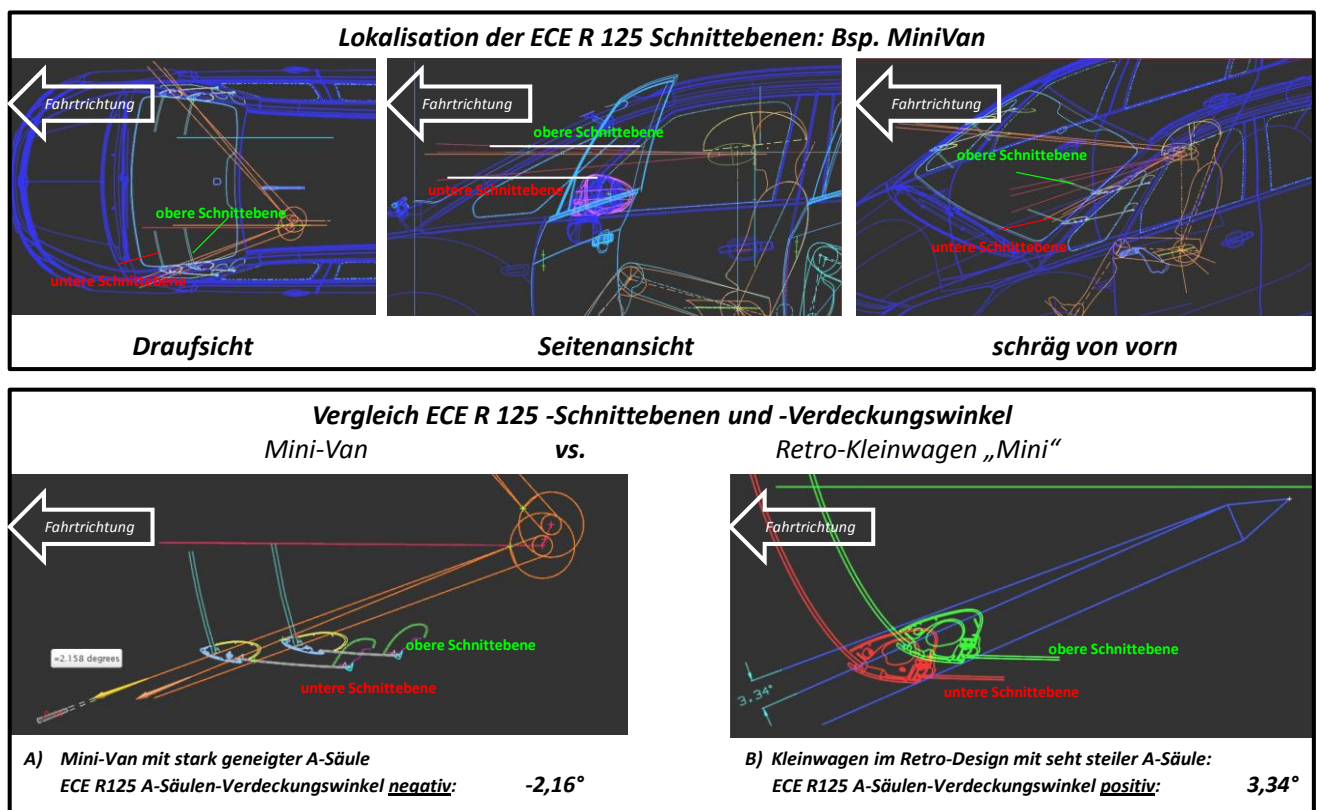


Abbildung 2.8: Vergleich der ECE R 125 A-Säulen-Verdeckung bei einem Kompakt-Van A) mit stark geneigter A-Säule und einem Kleinwagen B) mit sehr steil stehender A-Säule, der allgemein für seine Sicht im Bereich der A-Säule gelobt wird (Quelle: eigene Darstellung).

Besonders die Verlagerung der Säulenwurzel nach vorn aufgrund der Schrägstellung führt zu einer Verengung des freien Sichtfeldes (Öffnungswinkel). Vergleichende Beobachtungen zum Blickverhalten (HUDELMAIER 2003, S.30, 31) zeigen, dass eine weiter vorne angebrachte Konstruktion, die somit einen geringeren Öffnungswinkel zwischen linker und rechter Säule freigibt, die Blickzuwendung insbesondere in Kurven stärker zu behindern scheint als eine geringfügig breitere, jedoch weiter hinten liegende Säule mit größerem Öffnungswinkel. Untersuchungen von BUBB et al. (2013) zeigen dies auch für die Annäherungsphase in Kreuzungsbereiche unter Berücksichtigung des typischen, fahrdynamischen Bewegungsverhaltens.

Das Kriterium „Verdeckungswinkel nach ECE R125“ stellt also offenbar nicht zwingend „gute“ Sichtbedingungen sicher, da der Zusammenhang „je kleiner der Verdeckungswinkel desto besser die Sichtverdeckung“ nach dieser Messanweisung nicht zwingend zutreffend erscheint. Aus dieser Betrachtung heraus sollte der Verdeckungswinkel gem. ECE R125 über Typzulassungstests hinaus nicht als alleiniges Vergleichsmaß für die Sichtbeeinträchtigung verschiedener Fahrzeuge herangezogen werden. (Als ISO 7397-1/2 findet die ECE R125 zudem weltweite Verbreitung.)

StVZO §35b

Die StVZO regelt die Frontsicht horizontal im Bereich der vorderen $\pm 90^\circ$ zur X-Achse anhand von Projektion / Schattenwurf der nichttransparenten Fahrzeugstruktur auf eine definierte Bodenfläche. Dort wird anhand der Überschneidung der Schattenwürfe mit einem 12m-Halbkreis (Abbildung 2.9) um den spezifizierten, monokularen Augpunkt (Projektionsursprung) unter Berücksichtigung der strukturellen Bedeutung (tragend / nichttragend) des jeweils schattenwerfenden Bauteils, sowie der Lokalisation innerhalb oder außerhalb eines als Sichtkeils bezeichneten Bereichs entschieden, ob die Verdeckung zulässig ist. Sichtbereichserweiternde Hilfsmittel wie Spiegel werden außer Acht gelassen, der Abstand (Sehnenlänge) zweier benachbarter Schattenwürfe auf dem Sichthalbkreis ist ebenfalls geregelt. Wie in Abbildung 2.9 zusammenfassend dargestellt ist, spezifiziert die StVZO für den Frontsichtbereich (indirekt) Grenzen für sämtliche sichtbeeinträchtigenden Bauteile die einen Schattenwurf auf einer Bodenfläche innerhalb eines 12m-Kreises erzeugen. Damit ist sie auf die Beurteilung der Sichtverhältnisse in einem Nahbereich vor dem Fahrzeug begrenzt, da die Reglementierung durch die Wahl einer *Bodenfläche* als Projektionsfläche auf die Fahrzeugbereiche unterhalb des Projektionsursprungs limitiert ist. D.h. sämtliche Bereiche die in Z oberhalb des Projektionsursprungs lokalisiert sind und keine Überschneidung mit dem 12m-Kreis erzeugen, werden hiervon nicht geregelt. Dies betrifft insbesondere den für schnelle Fahrten relevanten Blick in den Horizont.

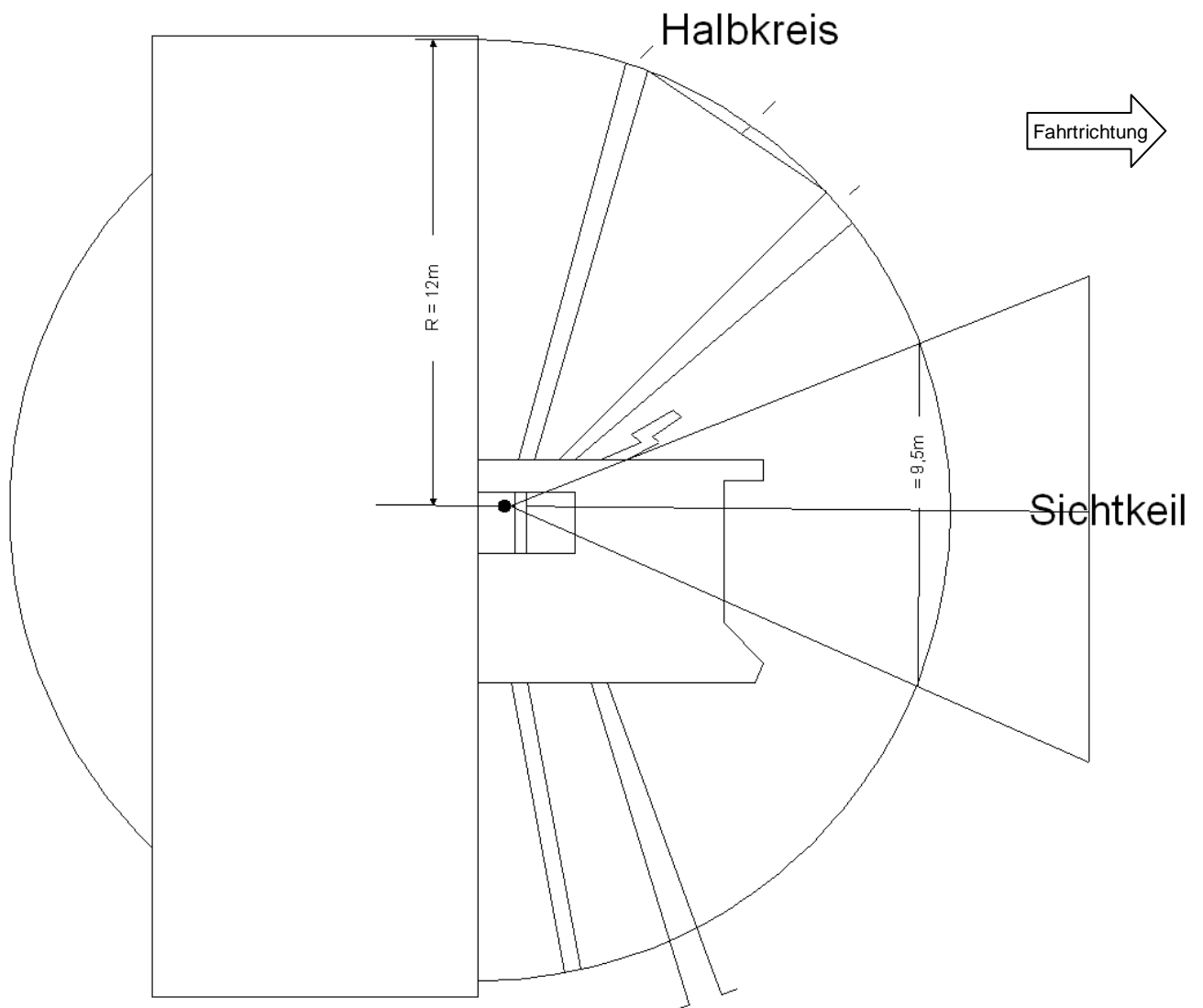


Abbildung 2.9: Bodenschatten, Sichthalbkreis und Sichtkeil nach StVZO § 35 b) (Fahrtrichtung nach rechts)

Regelwerke zur Auslegung des Hecksichtbereichs

Neben der Frontsicht existieren auch gesetzliche Mindestanforderungen für die Hecksicht. Grundsätzlich wird die Sicht nach hinten in zwei Kategorien eingeteilt. Neben der „direkten“ Sicht ohne Hilfsmittel, die eine Umblickhaltung des Fahrers erfordert, charakterisiert der Begriff der „indirekten“ Sicht, die Zuhilfenahme von Spiegel oder Kamerasystemen. Während die gesetzlichen Regelungen zur Frontsicht ausschließlich Kriterien für die direkte Sicht (beim PKW, anders beim LKW) beinhalten, sind bei der Hecksicht einzig die indirekten Sichtbedingungen betroffen. Wesentliche Richtlinien sind die 2003/97/EWG bzw. deren Pendant ECE R 46. In den USA existiert der FMVSS 111, dessen Anforderungen bzgl. indirekter Sicht grundsätzlich ähnlich der ECE aufgebaut sind.

ECE R 46 / 2003/97/EG

Die international gültige Typzulassung ECE R 46 regelt die indirekte Sicht, differenziert in Außen- und Innenrückspiegelsicht, sowie Anbringungsort und Ausführung dieser Spiegel beim PKW. Zur Beurteilung werden die ambinokularen Sichtfelder über diese Spiegel bestimmt und mit spezifizierten Bodenflächen hinter dem Fahrzeug (vgl. Abbildung 2.10) verglichen.

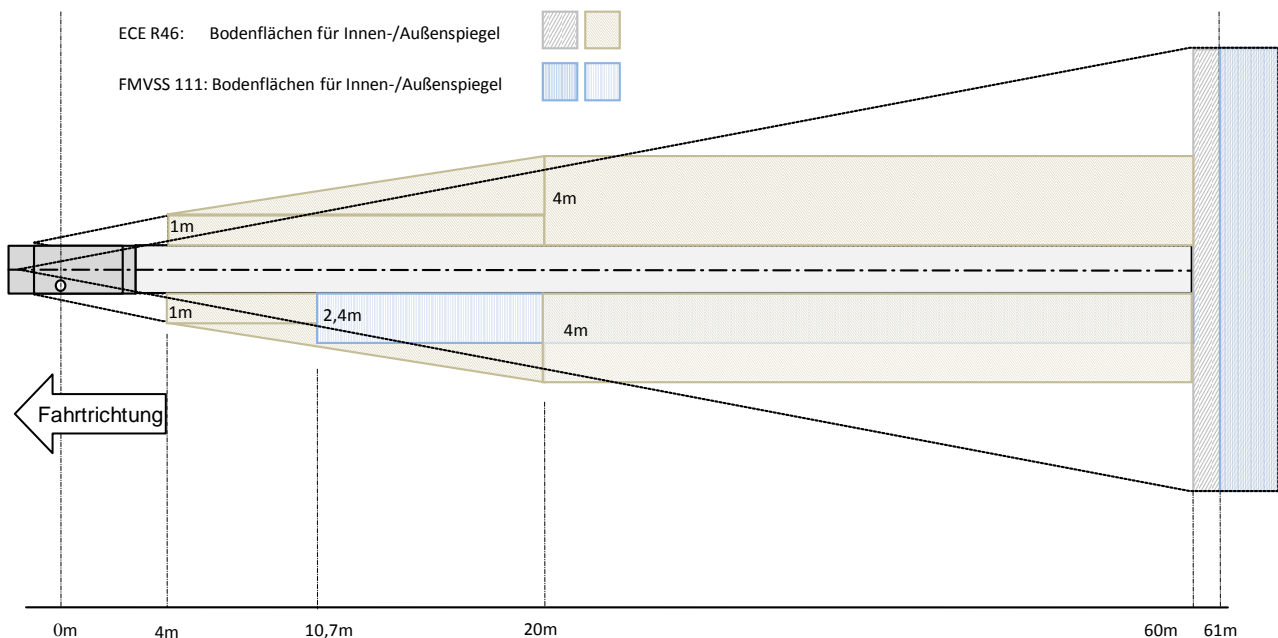


Abbildung 2.10: Vergleich der Sichtanforderungen der ECE vs. FMVSS für indirekte Sicht nach hinten (nicht maßstäblich, Fahrtrichtung nach links).

Für den Innenrückspiegel muss eine Bodenfläche einsehbar sein, die 60m hinter dem Augpunkt beginnt und sich mit einer lateralen Ausbreitung von ± 10 m ab der Fahrzeuglängsmittlebene bis in den Horizont erstreckt. Von der Projektion dieser Bodenfläche auf eine hinter dem Fahrzeug liegenden X-Ebene (es ergibt sich ein Dreieck) dürfen durch Fahrzeugkomponenten höchstens 15% verdeckt sein. Für die indirekte Sicht über die Außenspiegel existieren ähnliche Bodenflächen seitlich hinter dem Fahrzeug bis in den Horizont (Abbildung 2.10). Projektionen dieser Flächen (ähnlich wie

oben beschrieben) dürfen zu maximal 10% verdeckt sein. Außerdem ist der Anbringungsort des fahrerseitigen Außenspiegels durch einen maximalen Winkel relativ zum Augpunktpaar begrenzt. Auswirkungen der ECE R46, wie sie seit 26. Januar 2010 anzuwenden ist, sind gegenüber älteren Fahrzeugen größere Außenspiegel, die das direkte Sichtfeld nach vorne vor allem in Zusammenspiel mit der A-Säule merklich einschränken können.

FMVSS 111

Die amerikanische Zulassungsbehörde fordert in der FMVSS 111 das Anbringen eines Innen- und eines fahrerseitigen Außenrückspiegels. Der Innenrückspiegel muss die Sicht auf einen Bodenbereich hinter dem Fahrzeug ermöglichen, der höchstens 61m hinter dem Fahrzeug beginnt und sich in den Horizont erstreckt (vgl. Abbildung 2.10). Die laterale Ausbreitung dieses Bereichs ist nicht definiert. So könnte dies bereits eine Heckscheibe erfüllen, die einen senkrechten Sehschlitz darstellt. Die zulässigen Einschränkungen durch Fahrzeugbauteile sind ebenso vage formuliert: „*The line of sight may be partially obscured by seated occupants and by head restraints*“ (FMVSS 111). Darüber hinaus ist lediglich ein fahrerseitiger Außenrückspiegel vorgeschrieben mit dem ein Bodenbereich seitlich hinter dem Fahrzeug einsehbar sein muss. Die zu verwendende Augpunktlage muss der FMVSS 104 oder einer anderen, das 95. männl. Perzentil repräsentierenden Augpunktlage, entsprechen. Beifahrerseitige Außenspiegel sind nur dann vorgeschrieben, wenn die Innenrückspiegel-Sichtanforderungen nicht erfüllt werden, ohne jedoch Anforderungen für diesen Spiegel zu nennen. Es kann daher davon ausgegangen werden dass die FMVSS 111 in ihrer derzeitigen Fassung keine nennenswerten Anforderungen an die Sicht durch die Heckscheibe auf Bereiche hinter dem Fahrzeug enthält (NHTSA 2009).

Laut NHTSA (2009) werden aber in den USA jährlich ca. 300 Fußgänger (insbesondere Kleinkinder sowie Ältere und Leistungsgewandelte) bei 18.000 sog. *Back Over Accidents* (BOA) von langsam rückwärts bewegten Fahrzeugen getötet. Die Ursache wird in den unzureichenden Sichtbedingungen im Heckbereich gesehen. Insbesondere Fahrzeuge mit hohen Aufbauten, wie sie in Nordamerika und Australien weit verbreitet sind, sind überproportional an tödlichen BOAs beteiligt (NHTSA 2009, S.19). Eine Neugestaltung der FMVSS 111 soll hier Abhilfe schaffen, Hilfssysteme wie Rückfahrkamerasysteme und Zusatzspiegel mit einbeziehen und entsprechende Kriterien und Prüfmethode entwickeln. Ein Entwurf sieht für PKW in den USA ab dem 1. September 2014 die Einführung einer Ausrüstungspflicht für Rückfahrkameras vor, die eine Sicht auf sechs definiert platzierte Prüfzylinder (0,8m hoch, 0,3m Durchm.) hinter dem Fahrzeug ermöglichen müssen. PAINE, MCBETH, HENDERSON 2003 konnten indes zeigen, dass die weitverbreiteten, ultraschallbasierten Parksensoren, die missbräuchlich auch als Warnsysteme verwendet werden könnten, aufgrund hoher Falscherkennungsraten und zu kurzer Detektionsbereiche für die typischen Geschwindigkeiten und Reaktionszeiten des Fahrers in solchen Situationen keine ausreichende Schutzwirkung entfalten.

Regelwerke zur Auslegung des Seitensichtbereichs

Die Regelungen zur Frontsicht berühren meist auch die Sichtbarkeit von etwaigen Objekten seitlich des Fahrzeugs (Bsp.: ECE R 125, StVZO 180° Sichthalbkreis), darüber hinaus existieren streng genommen aber keine gesetzlichen Regelungen, die sich ausschließlich mit dem Seitensichtbereich des Fahrers befasst. So gibt es beispielsweise keine Richtlinien in Analogie zur ECE 125 für die B-Säulen. Einzig der *Japanese Safety Regulation Article 44* (JSRA) spezifiziert Bereiche vor und neben dem Fahrzeug auf der Beifahrerseite (vgl. Abbildung 2.11, dargestellt für Rechtslenker), auf denen ein Testzylinder entweder direkt oder mit Hilfsmitteln indirekt (Spiegel / Kamerasysteme etc.) vom Fahrer erkennbar sein muss (NHTSA 2009, S.35 ff). Ziel ist die Vermeidung von Unfällen mit Kleinkindern beim Ausparken, daher orientiert sich der Testzylinder (1m Höhe x 0,3m Durchmesser) an den anthropometrischen Daten eines 6-jährigen japanischen Kindes.

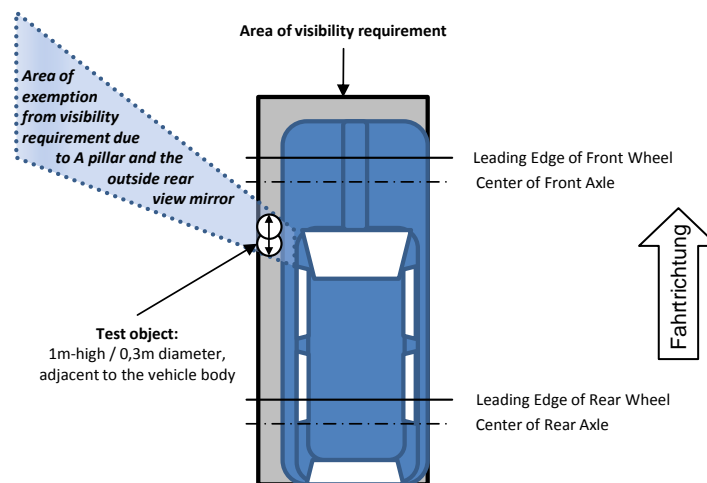


Abbildung 2.11: Japanischer Vorschlag zur Definition von Sichtbereichen im Nahfeld vor und neben dem Fahrzeug (nichtfahrerseitig) zur Harmonisierung weltweit einheitlicher, gesetzlicher Anforderungen; Abbildung ähnlich JSRA 44.

2.3.2. Nichtgesetzesrelevante Beurteilungsmethoden

Die Beurteilung der Sicht steht auch in einem nichtgesetzesrelevanten Kontext im Interesse der Hersteller, ihrer Verbände und Verbraucherorganisationen. So stellt bspw. die SAE für eine Reihe von Fahrzeugentwicklungsthemen, insbesondere auch für die Sicht, Gestaltungsrichtlinien bereit.

SAE J941

Die Lage des zu erwartenden Augpunktes bzw. dessen Verteilung für verschiedene Perzentile der Fahrerkollektive ist ein wesentlicher Eckpfeiler bei der ergonomischen Auslegung der Sicht im Fahrzeug. Die SAE J941 (bzw. ISO 4513) unterstützt hierbei durch die Definition sogenannter Augellipsen. Diese definieren im Falle der gebräuchlichen „95%-Augellipse“ jene 2D-Kontur in der Y-Ebene des Fahrzeugs, deren Tangenten die Punktwolke der erwarteten Augpunktverteilung jeweils im Verhältnis 5% zu 95% teilen (Abbildung 2.12, die Ellipse liegt auf der Seite des höheren Prozentwerts). Zwar ist der Prozentwert der Augpunkte die tatsächlich von der Augellipse (AE) eingeschlossen werden, kleiner (95%-AE: ~74,2% (vgl. Hudelmaier 2003)) aus dem Gebrauch der Augellipsen heraus ist dies jedoch für Einzelkriterien unerheblich, da sämtliche AE-Beurteilungen mittels Tangenten durchgeführt werden, was die Erfüllung des Einzelkriteriums für 95% sicherstellt. Die gleichzeitige Erfüllung aller Kriterien (Tangenten) unter Verwendung der 95%-AE gelingt hingegen dann nur noch für einen Prozentsatz zwischen mindestens 74,2 und maximal 95% (Abbildung 2.12).

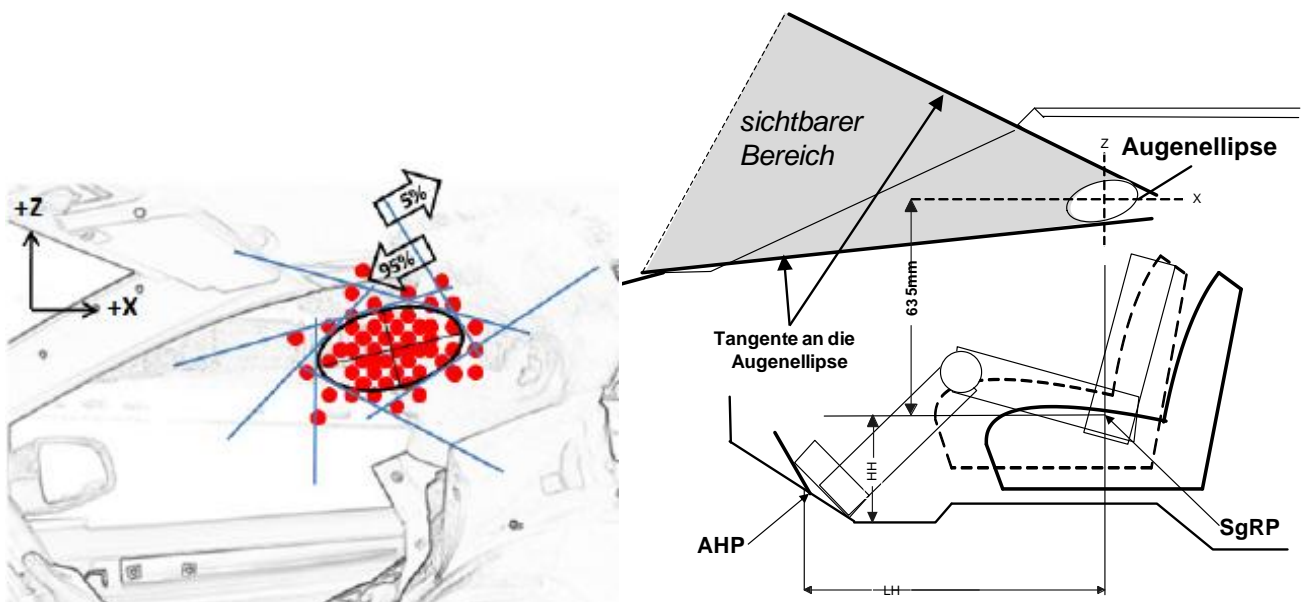


Abbildung 2.12: Das Prinzip der SAE-Eyellipse (RUHL 2010 nach SAE 941)

Trotz allem ist die AE als Auslegungswerkzeug nicht frei von Kritik: insbesondere die Umstände ihrer Entstehung (MELDRUM 1965) in Reihenummessungen mit Fahrzeugen, deren Sitzverstellbereiche bzgl. Anzahl der Freiheitsgrade und Verstellwege mit heutigen nicht annähernd vergleichbar ist sowie das Probandenkollektiv (N=2300), das nur die nordamerikanische Population repräsentiert hat, geben Anlass zum Zweifel an Ihrer Validität für andere Fahrzeuge. Zudem ist davon auszugehen, dass in den vergangenen 50 Jahren eine Körpergrößen-Akzeleration stattgefunden hat, die eine Validierung der

AE mit heutigen Probanden erschwert. Neuere Untersuchungen weisen darauf hin die Anpassung der Augellipse auf ein zu entwickelndes Fahrzeug von weiteren Parametern als den in der SAE J941 spezifizierten („Seating Reference Point“ (SgRP), Längsverstellweg des Sitzes und Design-Rückenlehnenwinkel) abhängig zu machen. Insbesondere Sitzhöhe und –verstellbereich sowie die Lenkradposition relativ zum sog. AHP (Accelerator Heal Point = einziger Fixpunkt der Positionierung des Fahrers bei nichtverstellbaren Pedalen) erlauben laut MANARY et al. (1998) eine erheblich bessere Prädiktion der tatsächlichen Augpunktlage. Dennoch ist grundsätzlich fraglich, inwieweit die konstruierte Augellipse aufgrund der Referenzierung auf den, vom Hersteller innerhalb des Sitzverstellfeldes festgelegten SgRP als konstruktiv festgelegter Punkt, der stark von der Beschaffenheit des jeweiligen Sitzes, des Einsitzverhalten des Fahrers und der Dauer der Nutzung des Sitzes abhängig ist, sowie die Wahl eines festen Rückenlehnenwinkels mit der tatsächlichen Augpunktverteilung zuverlässig in Einklang steht. Weitere psychologische Faktoren wie etwa der Einfluss des empfundenen Raumgefühl auf die Einstellung des Sitzes und somit der Augpunktlage können hierbei ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Aufgrund ihrer Einfachheit ist die Augellipse dennoch als zweidimensionale Methode zentrales Element einer Vielzahl von Auslegungskriterien und aus der grundlegenden Fahrzeugauslegung nicht mehr wegzudenken.

Neben der Augellipse in der Y-Ebene existieren Ellipsen in der Z-Ebene für binokulares Sehen und Mittenauge.

Verbraucher- und Prüforganisationen sowie die Fahrzeughersteller selbst haben weitere Beurteilungsmethoden für die Sicht im Fahrzeug entwickelt, die in Tabelle 2.1 nach Darstellungsart und Beurteilungskategorie eingeteilt sind.

Tabelle 2.1: Übersichtstabelle nichtgesetzesrelevanter Sichtbeurteilungsmethoden bei Herstellern und Verbraucherorganisationen (WOYNA, GLOGER, BRUDER 2010).

		Beurteilungskategorie	
		objektiv	Subjektiv
Darstellungsart	physikalisch	<ul style="list-style-type: none"> • 2D-Laser-Theodolit: <ul style="list-style-type: none"> ▪ in Horizontal-Ebene ▪ auf Prüfkörper • 3D-Schattenwurf auf Boden / Wand • Photometrische Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Statisch: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Physical Mock Up („PMU“) • Dynamisch: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Umbaufahrzeug/ „Taped Car“ ▪ Serienfahrzeug im Straßenverkehr
	virtuell	Digital Mock Up (DMU): <ul style="list-style-type: none"> • 2D-Schnitte für A/B-Vergleiche <ul style="list-style-type: none"> ▪ SAE-Augellipse • Menschmodelle (z.B. RAMSIS) <ul style="list-style-type: none"> ▪ „RAMSIS – kognitiv“ ▪ A/B/C-Vergleiche 	DMU: <ul style="list-style-type: none"> • Aktiv: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Virtual / Augmented Reality (VR/ AR) • Passiv: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicht aus Augpunkten des Menschmodells

Physikalisch - objektive Methoden

2D-Lasertheodolit

Die mit Abstand verbreitetste Methode zur objektiven Sichtbeurteilung ist die sog. Laser-Theodolit-Methode. Hierbei handelt es sich um ein zweidimensionales, monokulares Messverfahren (SUNDIN, HASSELBLAD 2008) der Verdeckungswinkel in einer horizontalen oder zur Horizontalen geneigten Ebene. Der Verdeckungswinkel ergibt sich hierbei aus den Tangentenpaaren in dieser Ebene an das jeweilige Fahrzeugstrukturteil, wie es ähnlich für die A-Säule in der ECE R 125 beschrieben wird. Der Laser-Theodolit wird hierzu im Fahrgastraum an einer definierten Fahreraugpunktposition installiert, in der spezifizierten Messebene rotiert und die Verdeckungswinkel der einzelnen Bauteile werden ermittelt. Oftmals wird daraus der aufsummierte Gesamtverdeckungswinkel des 360°-Rundumblicks bestimmt, der als Kriterium für die Rundumsicht dient (siehe Abbildung 2.13). Die Positionierung / Wahl des Augpunktes erfolgt bei den Anwendern uneinheitlich. So finden sich in deren internen Methodenbeschreibungen unterschiedliche Vorgehensweisen zur Sitzeinstellung und Anbringungshöhe des Lasers relativ zum Sitz / H-Punkt (gem. ECE R125 / SAE J1050). Als größtes Manko dieser einfachen Methode kann jedoch die Beschränkung der Beurteilung auf eine Schnittebene angesehen werden, die sich meist an der Horizontalsichtlinie oder dem 12m-Sichthalbkreis (gem. StVZO §35b) orientiert.

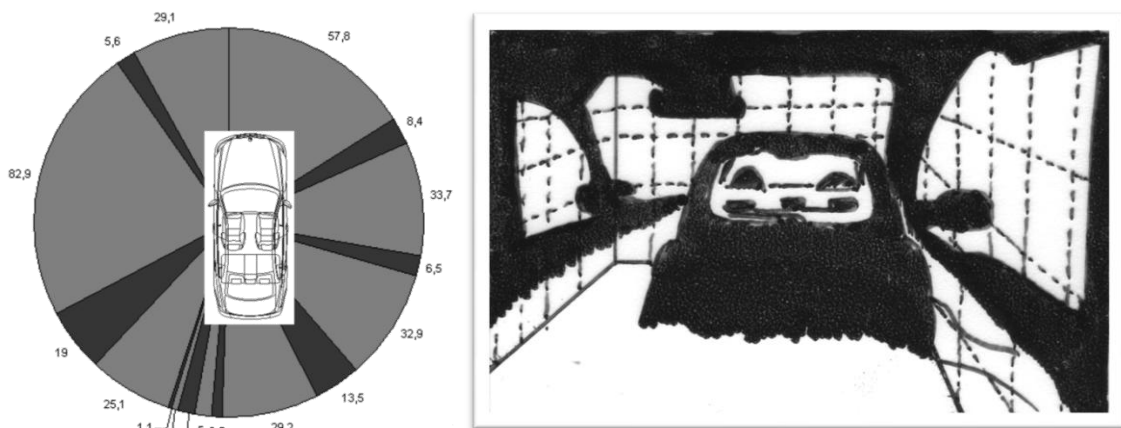


Abbildung 2.13: Typ. Ergebnis der Lasertheodolith-Methode (links); Schattenwurfverfahren (rechts) (gemäß z.B.: Whatcar.com(2003))

Schattenwurfverfahren

Andere Prüfinstitute, wie beispielsweise die britische MIRA (Motor Industry Research Association) beurteilen Sichtbedingungen über den Schattenwurf der Fahrzeugstruktur auf definierte Flächen (Abbildung 2.13, rechts). Hierbei werden in definierten Augpunktlagen Lichtquellen für mono- und (am)binokulare Beurteilungen angebracht. Die Beurteilungskriterien sind Flächenverhältnisse von *un-* zu *verdeckten* Flächen, die über Messgitter der Auswertungsflächen ermittelt werden. Dieses Messprinzip erlaubt realistischere Kriterien als das Theodolit-Verfahren, weil es die Sichtverhältnisse dreidimensional erfasst: Beispielsweise bezieht die MIRA die von der A-Säule verdeckte Fläche auf die durch die Frontscheibe einsehbare Fläche, was der von HUDELMAIER (2003) beobachteten

Relevanz des Säulenöffnungswinkels auf die Blickaktivität gerecht wird. Als weiteres sicherheitskritisches Kriterium dient die Größe der projizierten Verdeckung der A-Säule auf eine 23m frontal vor dem Fahrzeug stehende Ebene. Ziel ist die Bewertung der Erkennbarkeit potentiell verdeckter, querbewegter Fahrzeug in ausreichendem Abstand, bei Annäherung an eine Kreuzung. (Anhalteweg aus $v = 30\text{mph}$ gem. *British Highway Code*: 23m).

Eine Ausweitung der Untersuchung auf die Gesamtrundumsicht mit einem solchen *statischen* Lichtquellenpaar, erscheint aufgrund der Abhängigkeit der binokularen Verdeckung von der Ausrichtung des Lichtquellenpaares nur begrenzt sinnvoll. (vgl. Definition Blind Spots der StVZO §35b) bzw. Ausrichtung des Augenpaares in ECE R125, Anhang IV). Daher sollte eine Beurteilung der B-Säule nicht mit identischem Schattenwurfbild erfolgen wie für die A-Säulen.

Photometrische Verfahren

Artverwandte Methoden sind photometrische Verfahren, wie sie bspw. der ADAC entwickelt hat und einsetzt. Durch Rotation um die Z-Achse einer Digitalkamera im angenommenen Augpunkt des Fahrers wird eine Panoramaaufnahme der Fahrersicht erstellt. Die Augpunktverlagerung beim Umblicken (vgl. Umblickhaltungsmodell nach HUDELMAIER 2003) wird dabei jedoch nicht berücksichtigt. Ähnlich den Flächenverhältnissen der Schattenwurfverfahren werden hier Pixelverhältnisse zwischen unverdeckten und verdeckten Flächen erzeugt. Für die Gesamtbewertung der Sichtverhältnisse werden vom ADAC (2008) nicht näher beschriebene Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Sichtbereiche / Fahrzeugbauteile verwendet. Spiegelflächen und deren „Sichtpotential“ berücksichtigt der ADAC (2008) gesondert was er aber bisher nicht näher dokumentiert bzw. veröffentlicht hat.

Das Verfahren besitzt gegenüber den beiden zuvor beschriebenen Vorteile. Zum einen wird die 2D-Betrachtungsweise des Laserverfahrens aufgegeben, was die Fahrer-Sichtverhältnisse realistischer erfasst und besser beurteilbar macht. Zum anderen ermöglicht die drehende Kamera im Vgl. mit dem statischen Lichtquellenpaar des Schattenwurfs eine Beurteilung der Verdeckung aus frontal zugewandter Sicht, was die Verhältnisse bei Umblickhaltung besser annähert. Die Beurteilung der Verdeckung der B- oder C-Säule geschieht somit näher am jeweiligen Nutzungskontext.

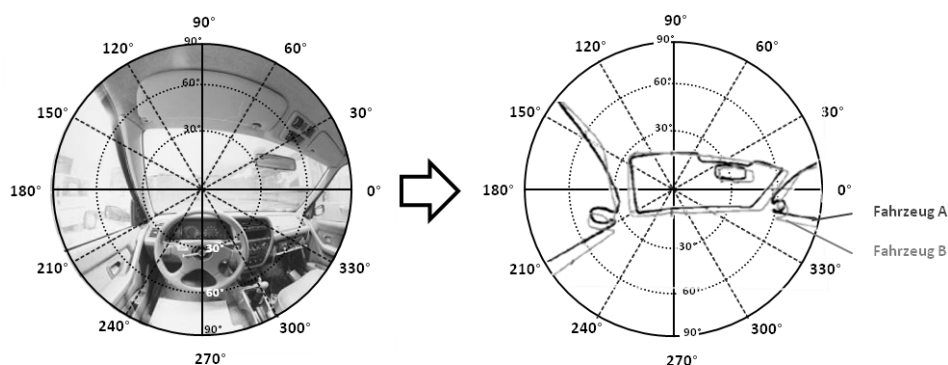


Abbildung 2.14: Photometrisches Analyseverfahren und Vergleichsverfahren nach ESTEVE, AOUSSAT, MILLET (1999).

Ein weiteres, dem Schattenwurfverfahren ähnliches, Vorgehen, bei dem die photometrisch ermittelten Sichtschatten der Fahrzeugstruktur in einem augpunktzentrierten Polarkoordinatensystem abgebildet werden, beschreiben ESTEVE, AOUSSAT, MILLET (1999) (Abbildung 2.14). Anhand von CAD-Daten kann eine solche Betrachtung auch in der Fahrzeugentwicklung angestellt werden und auch hier können grundsätzlich Verhältnisgrößen ähnlich der Schattenwurfverfahren gebildet und verglichen werden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass das Potential dieser Messverfahren für eine differenzierte Beurteilung erst damit erschlossen wird, dass eine fundierte Wissensbasis hinterlegt wird, die es ermöglicht, die einzelnen, verdeckten oder nicht verdeckten Bereiche sinnvoll gegeneinander abzugrenzen und zu gewichten. Anderenfalls beschränkt sich die Beurteilung eines Fahrzeugs A auf den Vergleich mit einem Fahrzeug B ohne einen absoluten Bewertungsrahmen.

Laser-Prüfzylinder-Verfahren

Nicht zuletzt die beschriebene BOA-Problematik hat die Methodenentwicklung zur Untersuchung der rückwärtigen Sicht durch den Gesetzgeber, Versicherungen und Verbraucherorganisationen v.a. in Japan, USA und Australien noch einmal forciert. Das Gros der hier vertretenen Methoden verwenden Lasertheodoliten um die Bodenfläche hinter dem Fahrzeug bzgl. Sichtbarkeit eventueller Prüfkörper bzw. der Bodenfläche selbst einzuteilen. Die Abmessungen typ. Prüfkörper (meist Zylinder) sind uneinheitlich, orientieren sich jedoch an der Anthropometrie von entsprechenden Unfällen betroffener Personengruppen. Weiterhin unterscheiden sich die einzelnen Methoden auch in der Ausbreitung bzw. Gewichtung der Bodenfläche. Beispielsweise betrachten die Testverfahren der „IAG“ (Insurance Australia Group) und der amerikanischen Verbraucherorganisation „Consumer Report“ (CR) lediglich die Bodenfläche, die das Fahrzeug bei gerader Rückwärtsfahrt überstreicht (Abbildung 2.15). Lenkbewegungen und querbewegte Kollisionspartner, die seitlich in den Fahrkorridor hineinlaufen, werden nicht berücksichtigt.

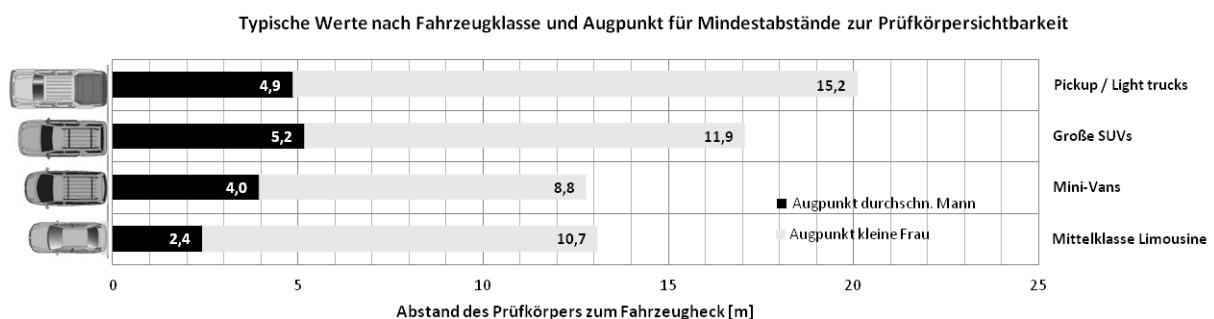


Abbildung 2.15: Prinzip und typ. Messwerte für versch. Fzg-Klassen und AP-Positionen der Hecksichtbeurteilungsmethode des CR (nach CONSUMER REPORTS 2010).

Die amerikanische *National Highway Transportation Safety Administration* (NHTSA) führte zahlreiche Untersuchungen u.a. zur Erarbeitung von Gesetzesvorschlägen durch, die gesamte rückwärtige Bodenfläche mit einer Grenzkontur der Prüfkörpersichtbarkeit zu versehen (Überblick über typische Ergebnisse: NHTSA (2008)). Dabei werden oftmals zusätzlich Teilflächen unterschieden je nach dem,

mit welchem System sie einseh- / kontrollierbar sind (direkte / indirekte Sicht / sensorbasierte Warnungen). Laut NHTSA (2008, S.33) konnte überdies gezeigt werden, dass in 2/3 aller BOA der betroffene Fußgänger sich zwischen Beginn der Rückwärtsfahrt und Unfall seitlich in den Fahrkorridor hinein bewegt hatte. Ein entsprechender Gewichtungsschlüssel für die Bodensegmente, basierend auf Simulationen und Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen von Fußgängerkollisionen abh. von deren Start-Position zu Beginn der Rückwärtsfahrt (vgl. Abbildung 2.16, unten), wurde im Rahmen der Gesetzesüberarbeitung des FMVSS 111 „Rearview Mirrors“ (s.o.) von der NHTSA (2009) erarbeitet.

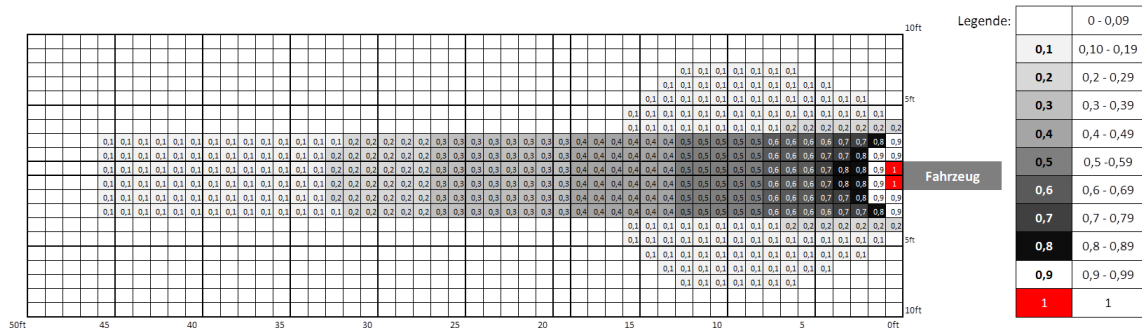


Abbildung 2.16: Gewichtete Bodenfläche zur Hecksichtbeurteilung nach NHTSA(2009) [rel. Kollisions-Wahrscheinlichkeit eines rückwärtsbew. Fzg mit einem Fußgänger als Funktion seiner Ausgangsposition (Fahrtrichtung nach rechts)).

Physikalisch - subjektive Methoden

Um neben objektiven, sicherheitsrelevanten auch subjektive, (dis)komfortrelevante Aspekte zu berücksichtigen, wird ein Fahrzeug zu bestimmten Entwicklungsständen im Entwicklungsprozess auch zur Sichtbeurteilung prototypisch aufgebaut. Diese Innenraummodelle stellen das Fahrzeug 1:1 in allen relevanten Einzelheiten im Innenraum dar und dienen je nach Ausbaustufe auch zur Beurteilung von Erreichbarkeit, Ein-/ Ausstiegskomfort und Beladbarkeit dienen. Diese sog. Physical Mock Ups (PMU) bieten jedoch für die Beurteilung der Sichtverhältnisse in Ihrer herkömmlichen Anwendung auch erheblich Nachteile:

- Lange Rüstzeiten (6–12 Wochen) können zu Diskrepanzen zwischen dargestellten und aktuellen Datenständen führen, was den Nutzen für Entscheidungsprozesse mindert.
- direkte A/B/C-Vergleiche werden aufgrund der hohen Kosten bzw. nötiger Umbauphasen in der Praxis selten durchgeführt.
- Wechselwirkung der statischen, meist nutzungsfernen Beurteilungsumgebung (Werkstatt) mit den Beurteilungsergebnissen, eingeschränkte Übertragbarkeit der Aussagen auf Realfahrten.

Um dem dynamischen Aspekten der Sicht im Straßenverkehr gerecht zu werden und für eine frühe Sichtbeurteilung zugänglich zu machen werden zusätzliche Umbaufahrzeuge verwendet. Dies sind entweder eingeschränkt fahrbare Mock-Ups (*Fahrbare Konzept-Darstellung*, „FKD“), die meist noch relativ hohe Darstellungsgenauigkeiten der Beurteilungsthemen bieten oder sog. „Taped Cars“ („TC“), welche wiederum voll fahrtüchtige, geringfügig mit Folien bzw. Schaumteilen modifizierte Serienfahrzeuge zur Andeutung des Entwicklungsstandes sind (Abbildung 2.17). Die Randbedingungen für deren effektiven und effizienten Einsatz sind aber recht eng gesteckt. Während die Fahrbarkeit der

FKDs physikalisch und rechtlich beschränkt ist, können Sichtbedingungen in TCs mittels 2D-Folien theoretisch nur für einen Augpunkt korrekt dargestellt werden. Der Vorteil der dynamischen Beurteilbarkeit im realen Straßenverkehr wird mit einer geringeren Darstellungsgenauigkeit erkaufte. Generell befinden sich die genannten Methoden in einem Zielkonflikt aus Kosten, Realitätsnähe der Beurteilungsumgebung und geometrischer Darstellungsgenauigkeit (angedeutet in Abbildung 2.18).

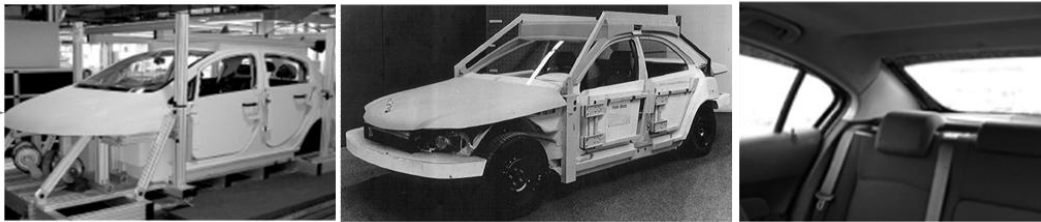


Abbildung 2.17: Links: stat. Mock-Up zur Fahrzeugbeurteilung; Mitte: dyn. Mock-Up (Bild: Scholly 2006); Rechts: Umbaufahrzeug „Taped Car“: Darstellung verbreiteter C-Säulen).

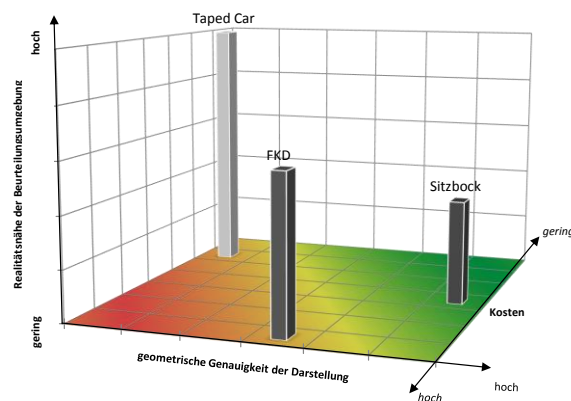


Abbildung 2.18: Methoden physikalisch-subjektiven Sichtbeurteilung im Zielkonflikt

Virtuelle Methoden

Neben den realen, physikalischen Methoden werden insbesondere im Rahmen der Fahrzeugentwicklung auch virtuelle Testmethoden angewendet. Auch hier kann wieder in objektive und subjektive Beurteilungsverfahren unterschieden werden.

Virtuell - Objektive Beurteilungsverfahren

2D-Schnitte

Grundsätzlich lassen sich mit virtuellen Methoden die oben beschriebenen objektiven Untersuchungsmethoden am Realfahrzeug wie z.B. die 2D-Lasertheodolit-Methode virtuell in frühen Entwicklungsstadien am DMU vorwegnehmen oder Konformitätsnachweise für Typzulassungstests führen (Abbildung 2.19). Experten dienen solche typischen Schnitte oftmals schon zur Abschätzung der Sichtverhältnisse z.B. im Vergleich zum Vorgänger. Dieses Expertenwissen lässt sich jedoch nur schwer mit anderen zu balancierenden Anforderungen abwägen.

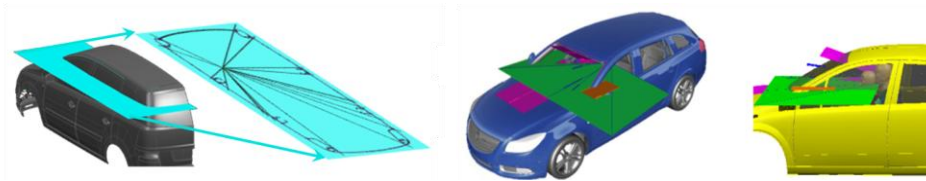


Abbildung 2.19: Virtuelle 2D-Schnitte zur Bestimmung der Säulenverdeckungswinkel (links), virtueller Konformitätsuntersuchung der ECE R125 am DMU (rechts).

3D-Menschmodelle

Menschmodelle, wie das in der Automobilindustrie vielfach eingesetzte „RAMSIS“, erlauben u.a. die Berücksichtigung des Einflusses verschiedener Körpergrößen und -proportionen auf Augpunkt und Sichtbedingungen zu einem Zeitpunkt, indem noch keine physikalischen Modelle mit realen Probanden beurteilt werden können. Die Sichtbedingungen in typischen Verkehrssituationen (Abbildung 2.20) verschiedener Körpergrößenperzentilen können beispielsweise übereinander gelegt, verglichen und ggf. Maßnahmen zur Optimierung der Sicht objektiv für das gesamte Nutzerkollektiv abgeleitet oder systematische Variantenvergleiche durchgeführt werden. Die Beurteilung der Güte der Sichtbedingung obliegt indes weiterhin der subjektiven Einschätzung der Modellanwender. Sind sie der Meinung, die Sicht auf den Radfahrer z.B. hinter der linken A-Säule (Abbildung 2.20) sei ausreichend, dann ist die Aussage jener Methode eben diese.



Abbildung 2.20: Sichtfeld aus dem Zyklopanauge eines RAMSIS-Manikins an einer Kreuzung. Verdeckung von Ampeln und Verkehrsteilnehmern beurteilbar.

Eine objektivere Untersuchungsmöglichkeiten der Fahrersicht bietet das sog. Programm-Modul „RAMSIS-kognitiv“ (REMLINGER, BUBB 2008), welches die Projektion des Fahrzeugs auf eine unterteilte, gewichtete Zylindermantelfläche, zentriert im Fahreraugpunkt bezieht. Diese ermöglicht es neben den Ausmaßen auch die Lage der einzelnen Verdeckungen zu berücksichtigen und ein Gesamtergebnis abzuleiten. Das hier verwendete Messgitter orientiert sich am sog. „Daimler-Scholly-Verfahren“ (REMLINGER, BUBB, WIRSCHING 2009, SCHOLLY 2006).

SUNDIN & HASSELBLAD (2008) zeigen eine ähnliche Methode, bei der die Fahrzeugstruktur im Frontsichtbereich ambino-kular auf eine 12 Felder-Tafel projiziert und entsprechend bewertet wird. Angaben zur Entstehung, Abmessung und Gewichtung dieser Felder werden jedoch nicht gemacht.

Virtuell - subjektive Beurteilungsverfahren

Der Trend zu Einsparungen bei Entwicklungszeiten und -kosten macht im Sichtgestaltungsprozess Technologien notwendig, die ein Fahrzeug zu einem frühen Zeitpunkt erlebbar darstellen ohne dazu

hohen modellspezifischen Hardwareumfang zu benötigen. Solche Technologien sind im Bereich des sog. Reality-Virtuality-Kontinuum (RVK) angesiedelt. MILGRAM und KISHINO (1994) verstehen darunter die als Mixed Reality bezeichnete skalierbare Überlagerung aus realer und virtueller Welt (Abbildung 2.21). Für den Sichtbeurteilungsprozess bedeutet dies, dass fehlende physische Komponenten, je nach technischer Ausprägungsform innerhalb des Spektrum, virtuell über ein entsprechendes Visualisierungssystem ergänzt (augmentiert) werden.



Abbildung 2.21: Das Reality-Virtuality-Kontinuum (RVK) (SEIB 2009)

Begrenzt wird dieses Kontinuum einerseits durch die Realität, was in diesem Kontext der Beurteilung im Realfahrzeug entspricht, andererseits durch eine Darstellung mit 100% Virtuell-Anteil. Dazu wird z.B. eine sog. CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) verwendet, die die gesamte physikalische Umgebung des Fahrers (meist mit Ausnahme des Fahrersitzes) rein virtuell darstellt. Zwischen beiden Extremen ist je nach Virtuell- und Realanteil die „Augmented Reality“ bzw. „Augmented Virtuality“ angesiedelt, also die Verschmelzung realer und virtueller Elemente, bzw. die Ergänzung realer Umgebung mit virtuellen Darstellungen. Die Lage des Augpunktes ist auch hier für die Sichtverhältnisse von eklatanter Bedeutung, sodass für die Übertragbarkeit der Beurteilungsergebnisse auf das spätere Realfahrzeug und somit für die Akzeptanz und Validität der Methode dafür Sorge zu tragen ist, dass die Wahl der Augpunktlage des Beurteilenden innerhalb der Virtual Reality so realistisch wie möglich ausfällt. Neben allgemeiner Ergonomie- und Sichtbeurteilung von Fahrzeugen (GAUSEMEIER et al. 2003) bietet sich die AR- / AV-Technik speziell unter diesem Aspekt an, da sie es ermöglicht, auch Einflussfaktoren auf die Wahl der Augpunktposition abzubilden, die von physischen – nicht visuellen - Gegebenheiten abhängen. Es wird davon ausgegangen, dass das Vorhandensein eines physischen Sitz- und Lenkrad(verstellfeldes), sowie von Pedalerie und Schalthebel die Wahl eines realistischen Augpunktes in der AR-Umgebung besser unterstützt als eine rein virtuelle Umgebung. Über die Notwendigkeit des Dachhimmels als Kopfraumbegrenzung zur Unterstützung des Raumgefühls bei der Sitzeinstellung, herrscht indes Uneinigkeit (LORENZ et al. 2009).

Die Visualisierungstechnologien erstrecken sich von sog. Powerwalls mit passiven Polarisationsfilter-Brillen oder aktiven Shutter-Brillen für den 3D-Eindruck bis hin zu kopfgebundenen Visualisierungslösungen, sog. Head Mounted Displays (HMD) (RIX, STORCK 1999, S.2), welche die gesamte virtuelle Welt auf dem Bildschirm unmittelbar vor dem Auge darstellt, oder im Falle des „HMD-see-

through“ Informationen über einen transparenten Display der Umgebung augmentieren. Essentiell für eine optimale Verschmelzung aus Real- und Virtuellanteil ist ein Headtracking bzw. ein optisches Referenzmarker-System, um die augmentierte Information kontextspezifisch korrekt einzublenden bzw. die 3D-Darstellung dynamisch darzustellen.

In der Automobilindustrie lassen sich viele VR-/AR-Anwendungen innerhalb des RVK zur Sichtuntersuchung finden. Daimler verwendet eine CAVE mit einem minimalistischen Sitzbock (Sitz, Lenkrad, Pedalerie) u.a. zur Beurteilung der Außenspiegelgrößen und Lage (SCHOLLY 2006). GM-Europe bedient sich einem ähnlichen Aufbau aus Minimal-Sitzbock und Powerwall, die eine sukzessive Untersuchung aller Sichtbereiche der Rundumsicht auf tagesaktuellem Datenstand ermöglicht.



Abbildung 2.22: Vehicle-in-the-loop-Ansatz unter Verwendung von AR zur Erprobung von Fahrerassistenzsystemen (Bock et al. 2009).

Die Audi AG verwendet HMDs in der Sitzkiste sowie im Feld zur Erprobung von Fahrerassistenzsystemen. Während bei ersterem der HMD mutmaßlich keine Durchsicht auf die physische Umgebung zulässt (100% Virtuality), wird beim sog. Vehicle in the loop Ansatz (Bock et al. 2009, Bock et al. 2008) mittels HMD „see-through“ die reale Fahrumgebung mit virtuellen Fahrzeugen augmentiert (Abbildung 2.22). Grundsätzlich ist die Verwendung dieser Technologie zur Darstellung virtueller Fahrzeugbauteile zur Sichtuntersuchung anstelle anderer Fahrzeuge vorstellbar und wird ähnlich im VW Konzern eingesetzt. Das Heinz Nixdorf Institut Paderborn entwickelte zusammen mit der Volkswagen AG (OEHLSCHLAEGER et al. 2005) einen speziellen Versuchsträger (Abbildung 2.23) ohne jeglichen Dachaufbau oberhalb der Gürtellinie. Dem Fahrer wird mittels eines HMD-Video-see-through die zu beurteilende Struktur dynamisch der realen Fahrzeugstruktur und Verkehrsumgebung überblendet. Die Darstellung der Sichtbegrenzung durch die A-Säulen, das Dach und die Konsole wird für die stationäre Anwendung als sehr realistisch beurteilt (OEHLSCHLAEGER et al. 2005).



Abbildung 2.23: Fahrbarer AR-Versuchsträger (OEHLSCHLAEGER et al. 2005)

2.3.3. Zusammenfassende Bewertung existierender Methoden

Die beschriebenen Beurteilungsmethoden sind meist sehr stark auf spezielle Fragestellungen bzw. die Spezifika ihres Verwendungszwecks zugeschnitten, was die Übertragbarkeit der Beurteilungsergebnisse bzgl. der Güte der gesamten Sichtverhältnisse erschwert. Die Methoden der Verbraucherorganisationen scheinen hingegen häufig von Pragmatismus und Effizienz geleitet und lassen eine Validierung der Beurteilungsgrundlagen vermissen (ist der zu messende Parameter als Indikator für die Güte der Sichtbedingungen statistisch aussagekräftig?).

Grundsätzlich lassen sich folgende drei Punkte defizitär für die *objektiven* Methoden anführen:

1. *Konzentration auf einzelne Messwerte in eng begrenzten Schnittebenen:*

Für die Fahrzeugkonzeptauslegung eignen sich objektive/analytische Methoden wie beschrieben im Wesentlichen aus den gleichen, pragmatischen Gründen wie für die Verbraucherorganisation. Sie stellen harte, mathematisch beschreib- und effizient handhabbare Anforderungen bereit. Im Hinblick auf die unterschiedlichen Ausführungsmöglichkeiten beispielsweise der A-Säule erscheint aber die Beschränkung der Beurteilung auf eine Schnittebene (Lasertheodolith oder 2D-Schnitte) als wenig zielführend. Insbesondere Fahrzeuge mit sog. A2-Säule (Abbildung 2.24) können je nach Schnittebene erheblich abweichende Bewertungsergebnisse verursachen.



Abbildung 2.24: Schematische Auswirkungen der Schnittebenenlage bei A1/A2-Säulen. blau: Verdeckung in Ebene 1; rot: Zuwachs in Ebene 2 / 3 gegenüber Ebene 1.

2. *Fehlende Gewichtung der einzelnen Sichtbereiche (Front/Seite/Heck) bzw. Messwerten/ Schnittebenen*

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die meist fehlende Gewichtung der einzelnen Verdeckungen je nach Sichtbereich oder Lage. Sehr breite A-Säulen können z.B. durch versenkbare Kopfstützen oder eine schmale C-/D-Säule ausgeglichen werden. Dies scheint mit der unterschiedlichen Relevanz der einzelnen Sichtbereiche je nach Verkehrssituationen und Gefahrenpotential nicht vereinbar.

3. Fehlende Validierung

Wie oben detailliert erläutert, werden einzelne, relativ einfache geometrische Zusammenhänge herangezogen, deren Aussagekraft für die Sichtbedingungen bzw. Einfluss auf die visuelle Informationsaufnahme beim Autofahren nur ansatzweise geklärt ist. Zwar existieren Untersuchungen (HENDERSON et al. 1983), die einen Zusammenhang zwischen (sichtbeeinflussender) Fahrzeuggeometrie und Unfallhäufigkeiten aufzeigen. Da es sich hier jedoch um Korrelations-Untersuchungen nur *einzelner* geometrischer Parameter mit der relativen Häufigkeit bestimmter Unfalltypen und nicht etwa um die Regression des messwertbasierten Bewertungsergebnisses in dessen Gesamtheit (z.B.: 360°-Verdeckungswinkel als Summe der Einzelwinkel etc.) handelt, können diese Untersuchungen lediglich als Hinweis auf Gültigkeit des unterstellten Zusammenhangs nicht jedoch als Validierung der eigentlichen Methoden verstanden werden. SIVAK et al. (2006) und SIVAK et al. (2007) zeigen u.a. eine Tendenz, dass Verdeckungswinkel sowie Öffnungswinkel der A-Säulen positiv mit der relativen Häufigkeit von Fahrstreifenwechsel-Unfällen („Lane Change Crashes“: LCC) korreliert sind, sowie dass ein kleinerer Lagewinkel der B-Säule in ansonsten identischen Fahrzeugen (Vergleich 4/5-Türer zu 3-Türer) zu einer signifikanten Zunahme der relativen Häufigkeit von LCCs führt.

Ein exemplarischer Vergleich der Bewertungen gleicher Fahrzeuge verschiedener Bewertungsmethoden (Tabelle 2.2) zeigt zudem die Diskrepanz der Methoden untereinander.

Tabelle 2.2: Beurteilungsunterschiede gleicher Fahrzeugen anhand unterschiedlicher Methoden (Daten verschiedener veröffentl. Tests. A: BANGEMANN & THOMAS (2006) / BANGEMANN & THOMAS (2007) / THOMAS (2008); B: BRANKE & KLANGWALD (2007); C: WHATCAR.com(2003); D: ADAC (2008).

Hersteller	Modell	Türen		Test-Zeitpunkt			A			Mittel	Test-Zeitpunkt			B			Test-Zeitpunkt	C		Test-Zeitpunkt	D			Note:
				Verdeckung	Quotient	Sterne	Verdeckung	Quotient	Sterne		Verdeckung	Quotient	Sterne	Verdeckung	Quotient	Sterne		Sterne gemäß A mit Messwerten gemäß B	Pylonen-Abstand		Sichthöhe	Sterne	Sterne	
				[%]			[m]:				[°]	[%]			[m]:	[m]:								
Kleinwagen																								
Ford	Fiesta	MK6	5	25/2006	29	1,2	*	4,1	1	*****	4	1	***	3					***	2,6				
Opel	Corsa	D	5		29	1,2	*	6	1	-	6	2	-	0,3				****						
Skoda	Fabia	II	5		32	1,3	-	4,8	1	*	5	1	-	0,3				****						
VW	Polo	9N	5		33	1,3	-	4,5	1	***	4	1	-	1				****	*****	3,6				
Mittelklasse																								
BMW	3er	E90	4	02/2008	26	1,1	***	4,5	1	*****	4	1	***	3,3				****				4	4	4
Peugeot	407		4		25	1	*****	5,6	1	-	5	1	-	1,3				*****						
Opel	Vectra	III	4		33	1,4	-	5,7	1	-	5	1	-	0				****	****	3,1				
Saab	"9-3"	II	4		29	1,2	*	5	1	**	5	1	*	1,3				****	****	2,7				
Vans																								
Citroen	C4 Picasso	I	5	14/2007	29	1,3	-	6,5	2	-	6	2	-	0				***				2		
Ford	C-Max	I	5		30	1,4	-	5,9	1	-	7	2	-	0				****						
Opel	Meriva	I	5																					
VW	Touran	I	5		31	1,4	-	5	1	*	5	1	-	0,3						*	1,3		3	4
																			*	1,8				

Teilweise gegensätzliche Gesamtbewertungen für identische Fahrzeuge lassen darauf schließen, dass die einzelnen Methoden in ihrer Gesamtheit (Kriterien, Gewichtung etc.) nicht valide oder zumindest unvollständig sind bzw. kein Konsens über die valide Beurteilung bzw. Definition von Sichtbedingungen herrscht. So zeigen sich z.B. für den „Opel Corsa“ Diskrepanzen zwischen *Prüfinstitut A* (Ø: 0,3 von 5 Sternen) und *Prüfinstitut B* (4 von 5 Sternen). Ähnliches gilt für den „Peugeot 407“ der von *Prüfinstitut A* im Mittel nur 1,3 von 5 Sternen, von *Prüfinstitut B* jedoch 5 von 5 Sternen erhält. Ebenso drastische sind die Unterschiede beim „Opel Vectra“. *Prüfinstitut A* vergibt Null Sterne, während das *Prüfinstitut C* 4 von 5 Sternen vergibt. Die Vielfalt verwendeter Kriterien und deren Interpretation sind zur Erklärung der Diskrepanzen heranzuziehen, unterstreichen aber erneut die geringe Standardisierung sowie die hohe Zahl an Einflussfaktoren auf die Sicht sowie den Validierungsbedarf.

Die Analyse der *subjektiven* Beurteilungsmethoden und deren spezifischer Anforderungen an Beurteilungsmethoden in der Fahrzeugentwicklung zeigt, dass sie Zielkonflikten ausgesetzt sind.

So wäre es optimal, wenn folgende Aspekte gleichzeitig erfüllt würden

- a. *Minimaler Aufwand zur Darstellung des Fahrzeugs / Modells / Beurteilungsgegenstandes*
- b. *maximale Realitätsnähe der Beurteilung und Beurteilungsumgebung*
- c. *hohe mathematische Genauigkeit*
- d. *Quantifizier- / Beschreibbarkeit (Rückschluss Subjektivurteil auf messbare Winkel etc.)*

Die verwendeten Methoden und Modelle (Abbildung 2.25). sind jedoch beispielsweise entweder hoch detailliert und kostenintensiv, bieten aber nur eingeschränkte quantifizierbare Beurteilbarkeit in einer (statisch) gebrauchsfremden Umgebung (Mock-Up, meist Werkstattumfeld) oder dynamisch im Straßenverkehr nahezu uneingeschränkt realitätsnah beweg- und beurteilbar, entsprechen dem eigentlichen Fahrzeug aber nur in sehr eingeschränkter Form, und die Quantifizierbarkeit der Beurteilung leidet zudem unter der schlechten Reproduzierbarkeit der realen Fahrumgebung.

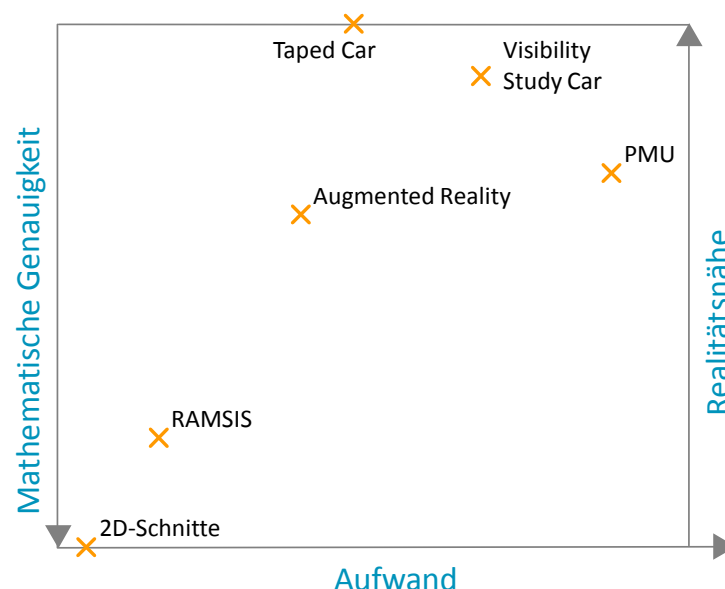


Abbildung 2.25: Sichtbeurteilungsmethoden in der Fahrzeugentwicklung im Spannungsfeld Aufwand, mathematische Darstellungsgenauigkeit und Realitätsgrad der Beurteilung (in Anlehnung an WOYNA et al. (2009))

Weiterhin erschwerend erfordern subjektive Verfahren zur Sichtbeurteilung meist ein ausreichendes Probandenkollektiv zur statistischen Ergebnisabsicherung. Einem effizienten Einsatz in der Entwicklung ist dies insbesondere in Verbindung mit der Verwendung eines PMU (lange Rüstzeiten) nicht zuträglich. Wie oben beschrieben kann die Technologie „Virtuelle Realität“ hier Abhilfe schaffen („AR“, Abbildung 2.25), ermöglicht sie doch die Darstellung tagesaktueller Konstruktionsstände in einer zwar künstlichen aber nicht verwendungsfernen Umgebung (Fahrsimulation). Eine verantwortungsvolle Nutzung dieser Technologie setzt jedoch den Nachweis deren Validität im Kontext einer Sichtbeurteilung voraus. Ein Nachweis, dass die Beurteilung im realen Fahrzeug durch eine Beurteilung im AR-Sitzbock valide substituiert und somit prädiziert werden kann wird in WOYNA et al. (2010) aufgezeigt.

Die etablierten Methoden und Kriterien der Sichtbeurteilung lassen sich in zwei Gruppen teilen. Die eine der beiden interpretiert die Sichtverhältnisse i.d.R. als rein geometrisches Problem und ignoriert dabei sowohl den dynamischen Charakter des menschlichen Blickverhaltens vollständig wie auch die situationsspezifische Wechselwirkung des Sichtverhaltens je nach Nutzungsumgebung. So stellt meist der statische Augpunkt des Fahrers für eine Geradeausfahrt den Referenzpunkt für die Sichtbeurteilung in sämtliche Richtungen dar und wird beispielsweise ebenfalls für die Bewertung der Rücksicht benutzt. Für die Beurteilung der (indirekten) Rückspiegelsicht mag das noch vertretbar sein. Zur Beurteilung der direkten Sicht ist es jedoch zumindest fraglich.

Zudem erscheint es nicht ausreichend, die metrische Ausprägung von verdeckten und unverdeckten Raumwinkeln, Flächen oder anderer Bezugssysteme zu bestimmen und deren Verhältnis zueinander als alleinige Beurteilungsgrundlage heranzuziehen. Vielmehr erscheint es nötig, diesen Teilbereichen des Sichtfeldes jeweils eine Bedeutung zuzuweisen, die wiederum eine Aussage über deren Relevanz für eine zweckmäßige Fahrzeugführung enthält und dabei die rein geometrische Betrachtungsweise um den dynamischen Charakter des menschlichen Blickverhaltens und deren situationspezifische Wechselwirkung je nach Nutzungsumgebung erweitert. Dadurch eröffnet sich einerseits die Möglichkeit eine differenziertere Bewertung mit einem nachvollziehbaren Realitätsbezug zu schaffen und andererseits kann das Dilemma, den anderen, nicht sichtgetriebenen, Anforderungen entsprechen zu müssen dadurch begegnet werden, dass nun nicht mehr die Größe eines verdeckten Bereiches alleine sondern auch die Lage dieser Verdeckung im Raum in das Bewertungsergebnis einfließt.

Ein ganz grundsätzliches Problem bei der Bewertung der Sichtverhältnisse im Fahrzeug stellt die Tatsache dar, dass es aus subjektiver Sicht keine Obergrenze für optimales Sehen im Fahrzeug gibt (vgl. REMLINGER 2000). Einfach ausgedrückt heißt das, ein Fahrzeug, das keinerlei Verdeckung bietet, wird immer besser beurteilt werden als eines mit minimalster Sichtverdeckung unter allen existierenden, zulassungsfähigen Fahrzeugen. Da aus den zuvor dargestellten Gründen aber nicht

auf entsprechende Strukturbauteile verzichtet werden kann, müssen Kriterien gefunden werden die dieser Problematik insgesamt gerecht werden.

So gibt es neben den oben diskutierten etablierten Methoden eine Reihe weiterer Sichtbeurteilungsverfahren bzw. Forschungstätigkeiten, die sich dieses Themas wissenschaftlich annehmen. Dies trifft insbesondere auf den Zeitraum der späten 1960er und frühen 1970er Jahre zu. Die Mehrheit umfasst eine Einteilung der Rundumsicht in Zonen unterschiedlicher Relevanz für die Fahrzeugführung (BARNOWSKI et al. 1970, FORBES et al. 1973) oder/und untersucht Teilbereiche detaillierter (KELLEY 1970, FORBES et al. 1973, YAMANAKA, KOBAYASHI (1970)).

Idealisiert dargestellt werden dabei die Raumwinkelbereiche einer Kugel - in deren Zentrum der Fahreraugpunkt sitzt - in unterschiedlich relevante Bereiche eingeteilt. Ist es dem Fahrer möglich all diese Zonen zu 100% einzusehen, so besitzt das Fahrzeug für den Fahrer laut Kriterium (Zoneneinteilung) optimale Sichtverhältnisse.

Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Verwendung eines noch so realistischen objektiven Beurteilungsverfahrens alleine den Einsatz subjektiver Beurteilung vollständig obsolet macht. Vielmehr werden Fahrzeughersteller weiterhin (zusätzlich) versuchen Sichtbedingungen in der Entwicklung hinsichtlich ihrer „psychologischen Komponente“ (REMLINGER 2000) zu beurteilen, um den subjektiven Sichteindruck des Kunden früh zu simulieren und in die Entwicklung zu integrieren. Dies lässt sich nur schwerlich rein anhand analytischer fahrzeuggeometrischer Messwerte substituieren. So lohnt es also, sich den Defiziten dieser Methoden ebenso zuzuwenden um deren Verwendung mit Hinblick auf das spätere Produkt zu optimieren.

3. Modell zur Ermittlung des Sichtbedarfs des Fahrers

Wie im vorigen Kapitel hergeleitet, ist eine sinnfällige Beurteilung der Sicht auf belastbare Kriterien angewiesen. Neben der Ermittlung physikalischer Größen und Maße zur Beschreibung der sich beeinflussenden Geometrie eines Fahrzeugs muss ein Maßstab gefunden werden, wie die ermittelten Werte bzgl. Ihrer Aussage über die Güte der Fahrersicht zu deuten sind. Dieser Maßstab sollte am Nutzungskontext des Fahrzeugs orientiert werden, um einen nachvollziehbaren Realitätsbezug aufzuweisen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird daher ein fahrerzentrierter Kriterienkatalog für die verschiedenen Sichtbereiche der Rundumsicht erarbeitet, der den jeweiligen sichtbereichsspezifischen Sichtbedarf im assoziierten Nutzungskontext bei der Erhebung zu Grunde legt. D.h. der Sichtbedarf des Fahrers zur sicheren und zufriedenstellenden Erfüllung der Fahraufgabe wird als späteres Kriterium zur Sichtbewertung in den entsprechenden, assoziierten Verkehrssituationen bzw. Nutzungsszenarien auf unterschiedliche Art und Weise untersucht und aufgenommen um daraus kontext- und bedarfsorientierte Kriterien zur Sichtbeurteilung abzuleiten.

3.1. Modell zur Einteilung der Rundumsicht

Um die einzelnen Sichtbereiche detailliert bzgl. des Sichtbedarfs wie beschrieben untersuchen zu können, bedarf es zunächst einer Unterteilung der Gesamtrundumsicht in Teilsichtbereiche. Neben der räumlichen Abgrenzung der Sichtbereiche wird hierbei auch eine Abgrenzung bzgl. der Relevanz der Sichtbereiche für die Fahrzeugführung vorgenommen. Denn bereits einfache Überlegungen bzgl. der Häufigkeitsverteilung der Bewegungsrichtung eines Fahrzeugs zeigen, dass nicht jeder Sichtwinkelbereich der Rundumsicht gleichbedeutend für Fahrsicherheit oder -komfort sein kann. Dennoch bedarf es eines belastbaren Untersuchungsansatzes zur differenzierten Einteilung der Gesamtsicht, die Allgemeingültigkeit hinsichtlich der Bandbreite an Verkehrssituationen sowie der sichtrelevanten Eigenschaften des Fahrerkollektivs (Alter, Anthropometrie, allgemeine und ortsspezifisch Fahrerfahrung etc.) besitzt.

3.1.1. Ansätze zur Sichtbereichseinteilung

Die in der Literatur beschriebenen Vorgehensweisen zur Sichtbereichsunterteilung lassen sich grundsätzlich zwei Ansätzen zuordnen, die im Weiteren als „Top-Down“ bzw. „Bottom-Up“-Vorgehensweise bezeichnet werden sollen. Sie werden im Folgenden diskutiert und gegenübergestellt, sowie ein dritter, hybrider Ansatz abgeleitet, der dann zur Anwendung gebraucht wird.

Top-Down-Ansatz zur Einteilung der Sichtbereiche

Der Top-down-Ansatz zur Sichtbereichseinteilung zentralisiert die Frage nach dem Sichtbedarf für eine sichere Fahrzeugführung auf theoretischer Ebene. Aus verkehrsinfrastrukturellen Systematisierungen, sog. verkehrstechnischer Taxonomien (FASTENMAIER 1995, S.28) der Verkehrsumgebung ergibt sich unter Einbeziehung der Relevanz für die Fahrzeugführung eine Einteilung der Rundum-

sicht. Diese Herangehensweise entspricht der Klärung der Frage, was ein Fahrer zur Erfüllung der Fahraufgabe sehen können sollte und wie dies relativ zum Fahrzeugkoordinatensystem lokalisiert ist. Bei diesem Ansatz wird der Mensch als Fahrer nur geometrisch in Form seiner Augpunktposition im Fahrzeug berücksichtigt, nicht jedoch bzgl. seiner spezifische Verhaltensweisen und Interaktionen mit seiner Umgebung.

Den umfassendsten Ansatz hierzu liefern BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970). Anhand komplexer verkehrsdynamischer und -räumlicher Betrachtungen im US-amerikanischen Raum bzgl.

- Lokalisation und Auftretenshäufigkeit fahrzeugführungsrelevanter Informationsträger,
- dem Risiko eines Verkehrsunfalls in einer entsprechenden Situation und
- weiterer ähnlicher Faktoren

werden Sichtziele in Form von Teilzylindermantelflächen entwickelt, die das optimale Sichtfeld eines Fahrzeugs charakterisieren (Abbildung 3.1). Im Rahmen der angeschlossenen physikalischen Mess- und Bewertungsmethode werden diese Zylinderteilmantelflächen (Sichtziele) konzentrisch um den Fahrer bzw. das Fahrzeug aufgestellt und mittels Schattenwurfverfahren auf den einzelnen Mantelflächen Teilergebnisse erzeugt (Abbildung 3.2). Über eine gewichtete Addition der einzelnen Sichtbarkeits-Anteile, entsteht eine Index-Kennzahl, welche die Sichtqualität des Fahrzeugs zwischen 0 und 1 beschreibt (Abbildung 3.3). Ähnliche, nicht ganz so weitreichende, Ansätze beschreiben ZIEDMAN, BURGER, SMITH (1987), FORBES (1970), FORBES et al. (1973), VERSACE (1970).

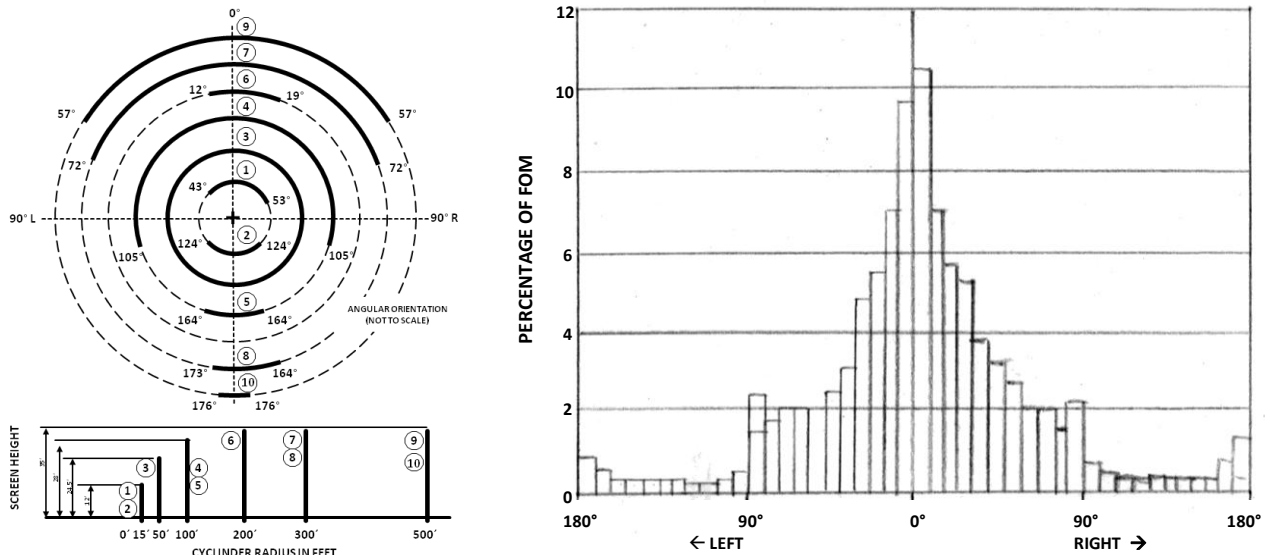


Abbildung 3.1: Links: Lokalisation der abgeleiteten Sichtziele (Zylinderteilmantelflächen) um den Fahreraugpunkt im Fahrzeug; Rechts: Verteilung Sichtbereichsgewichtung der Gesamtbewertungsmethode als Funktion des Azimuthanteils des Sichtwinkels. Gewichtung resultiert aus der Supersposition der einzelnen Sichtziele (links) und deren individueller, an der Relevanz der assoziierten Verkehrssituation orientierten Gewichtung (gemäß: BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970)).

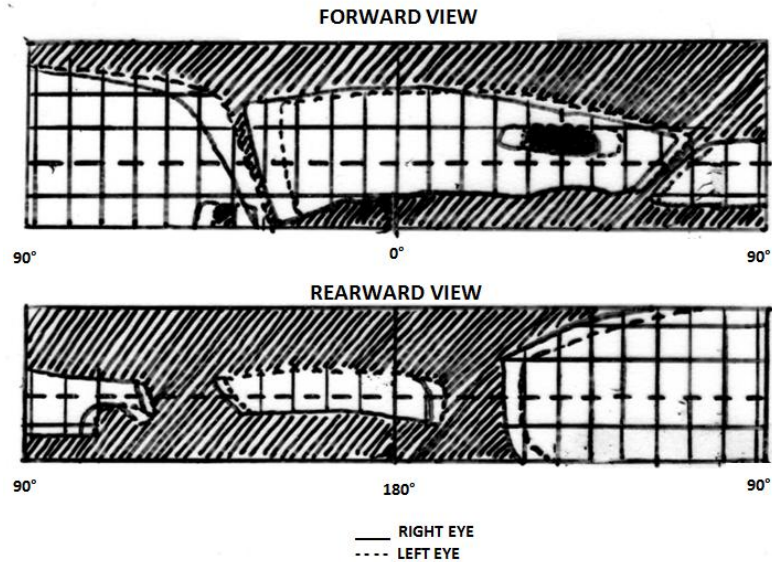


Abbildung 3.2: Schattenwurfmethode auf den konzentrischen Sichtzielen für ein reales Fahrzeug für einen monokularen bzw. binokularen Augpunkt (gemäß BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970)).

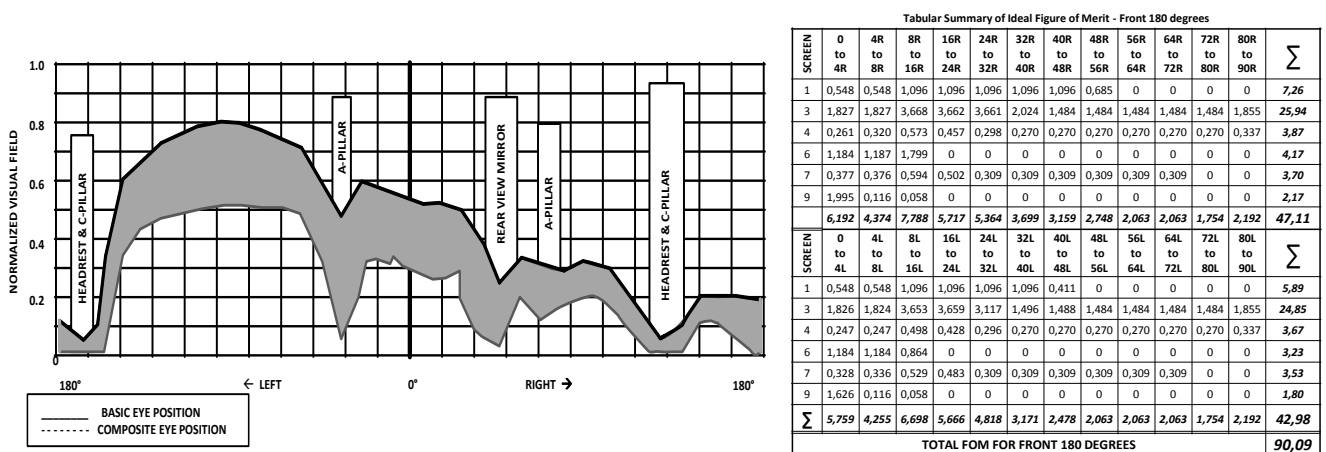


Abbildung 3.3: Mess-/Bewertungsergebnis eines realen Fahrzeugs sinngemäß nach BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970). Unterschiedl. Sichtbarkeitsanteile je Azimuthwinkelbereich für mono- ("Basic Eye Position") bzw. binokularen Augpunkt ("composite eye position").

Neben der Verwendung von Unfallstatistiken als belastbares Datenfundament zur Einteilung bzw. Gewichtung stellt die Ergebnisdarstellung in Form eines Index den wesentlichen Vorteil dieser Methode dar, da das Ergebnis somit stets gegenüber einem allgemeingültigen, theoretischen Optimum referenziert ist und die Möglichkeit einer Bewertung fernab der trivialen „Bauernregel: mehr Sicht ist besser als weniger“ (sinngemäß nach REMLINGER 2000) zulässt.

Zwar stellen verkehrstechnische Taxonomien theoretisch einen ganzheitlichen Ansatz zur Ermittlung des Sichtbedarfs dar, doch beinhaltet ein alleiniges Stützen einer Beurteilungsmethode auf derart entwickelte Sollkriterien auch Probleme. Das dynamische Verhalten des Menschen als Fahrer insbesondere in Bezug auf dessen Blickaktivität und typische Verhaltensmuster in bestimmten Verkehrssituationen, also mögliche Wechselwirkungen der Situation mit dem Fahrer, werden dabei völlig

außer Acht gelassen. Soll also das menschliche Verhalten mit in die Betrachtung einbezogen werden, so reichen diese Taxonomien für eine dann verkehrssituationsbezogene Verhaltensanalyse nicht aus (FASTENMEIER 1995, S29). Insbesondere beinhaltet ein rein verkehrstechnischer Ansatz immer automatisch eine Vielzahl von Hypothese über die korrekte Zuweisung der relevanten Information in einer Situation. D.h. es wird fortwährend postuliert, der Fahrer sei in der Lage anhand einer, an einer bestimmten Position lokalisierten, Information (assoziiertes Sichtziel), die Kritikalität der Situation richtig einzuschätzen. In einigen Situationen mag das noch trivial erscheinen (vgl. Kreuzungsszenario Kapitel 1.1), aber je komplexer die Situationen, desto schwieriger erscheint es jedoch, diese Zuweisung richtig zu treffen. Werden weitere Überlegungen bzgl. der Vielfalt von Verkehrssituationen und deren Ausprägungsformen einbezogen - BENDA, HOYOS, SCHAIBLE-RAPP (1983) unterscheiden in ihrer Klassifikation ca. 28 Mio. - so werden zudem Zweifel an der Vollständigkeit dieser Betrachtungsweise sowie an der Handhabbarkeit eines solchen Ansatzes zur Sichtbereichseinteilung deutlich. Vor diesem Hintergrund erscheint es lohnend, das tatsächliche Fahrer- und Blickverhalten für eine gewichtete Einteilung der Sichtbereiche heranzuziehen.

Bottom-Up-Ansatz zur Einteilung der Sichtbereiche

Anders als beim o.g. theoretischen Ansatz soll beim Bottom-Up Ansatz nicht ein als sinnfällig abgeleitetes, sondern das tatsächliche Blickverhalten des Fahrers aus rein empirischen Studien ermittelt werden und zur gewichteten Unterteilung der Rundumsicht herangezogen werden. Dabei stellt die Häufigkeit bzw. Dauer der Blickzuwendung des Fahrers in einzelne Raumwinkelbereiche die Gewichtungsgrundlage dar. Klassischerweise könnten solche Erhebungen in „naturalistic driving studies“ (vgl. NEILLY 2009) vollzogen werden. Es existieren zahlreiche Untersuchungen, die insbesondere auf Unterschiede in den Blickstrategien verschiedener Fahrergruppen abzielen (bspw. unterteilt nach Fahrerfahrung (MOURANT, ROCKWELL 1972)). Demgegenüber sind Untersuchungen zur Gewichtung der Sichtbereiche (vgl. BRÜCKMANN 2000) relativ rar. Insbesondere die Versuche mit dem „Glasskuppelfahrzeug“ der TU-München / Daimler AG hatten eine solche Einteilung (sog. „Daimler-Scholly-Verfahren“) zum Ziel. Leider lässt die diesbezügliche Publikationslage (SCHOLLY 2006, REMLINGER, BUBB, WIRSCHING 2009) hinsichtlich des Datenerhebungs- und –syntheseansatzes bzw. des theoretischen Unterbaus nur Mutmaßungen über die Erhebungsmethodik zu.

Der grundsätzliche Ansatz lässt sich dennoch hinsichtlich seiner Eignung zur Erhebung einer Datengrundlage zur Sichtbereichseinteilung betrachten. Sein wesentlicher Vorteil besteht in der Aufnahme, Integration und Zugrundelegung realen menschlichen Verhaltens zur Beurteilung einer ergonomischen Fragestellung. Zudem können unterschiedliche Ausprägungsformen verschiedener Einflussparameter menschlichen (Blick-) Verhaltens darin systematisch integriert werden. Beispielsweise können die vielfältig aufgezeigten Einflüsse der Fahrerfahrung auf das Blickverhalten durch Auswahl entsprechender Probandenkollektive berücksichtigt werden.

Der Kern dieses Ansatzes aber, die Häufigkeit bzw. kumulierte Dauer der Blickzuwendung als Maßstab für die Gewichtung zu nehmen, impliziert die Annahme, Häufigkeit und Dauer von Blickzuwendungen korrelierten mit deren Relevanz. Die hohe Zahl von Unfällen jedoch, die durch unaufmerksame oder abgelenkte Fahrer verursacht werden (z.B. KNOLL 2005) zeigt, dass die Blickzuwendung während einer Autofahrt nicht allein aus fahrzeugführungsrelevanten Blicken bestehen kann. So wie die Fahr(zeug)umgebung nicht ausschließlich aus verkehrs- oder fahrzeugführungsrelevanten Informationen besteht (z.B. Werbeschilder, Bebauung, Landschaft etc.). Darüber hinaus spielt laut COHEN, HIRSIG (1990) das periphere Sichtfeld bei komplexen Situationen bzgl. der visuellen Informationsaufnahme zwar eine untergeordnete Rolle, in weniger komplexen, geringer beanspruchenden Situationen trägt es jedoch durchaus zur Informationsaufnahme bzw. unter gewissen Randbedingungen sogar zur Erfüllung der Spurführungsaufgabe bei (vgl. ROCKWELL 1972). Für die Methode bedeutet dies nun, dass die Blickzuwendung (im Wesentlichen die Zuwendung des Scharfsehbereiches in die Umgebung) nur eingeschränkt für eine Sichtbereichseinteilung herangezogen werden sollte, da entweder der Scharfsehbereich nicht den exklusiven visuellen Informationskanal darstellt bzw. umgekehrt nicht uneingeschränkt davon ausgegangen werden kann, dass eine Blickzuwendung tatsächlich fahrzeugführungsrelevant ist. Das Ergebnis spiegelt zwar das menschliche Blickverhalten, die resultierende Beurteilungsgrundlage für Sichtbedingungen leidet jedoch bzgl. ihrer Aussagekraft.

Hybrider Ansatz

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein hybrider Ansatz gewählt, der eine Verbindung des Top-Down- mit dem Bottom-Up-Ansatz (wie oben beschrieben) darstellt und deren Vorteile unter gleichzeitiger Minimierung ihrer Nachteile verbinden soll. Die Grundidee hierbei besteht in einer zweistufigen Einteilung der Rundumsicht.

Basierend auf einer groben Einteilung der Rundumsicht in Hauptsichtbereiche, die anhand von Unfalldaten gegeneinander abgegrenzt und gewichtet werden (Top-Down), folgen Untersuchungen zur Feinunterteilung innerhalb dieser Hauptsichtbereiche, die das tatsächliche Fahrerverhalten und die Interaktion mit der Fahrumgebung im Nutzungskontext integrieren sollen (Bottom-Up).

3.1.2. Einteilungskriterium zur Grobeinteilung der Rundumsicht

Die Unterteilung der Sichtbereiche unter Berücksichtigung des realen Nutzungskontextes bedingt die Betrachtung und Einbeziehung des Verkehrsgeschehens. Für die Beschreibung des Verkehrsgeschehens selbst gibt es mehrere Ansätze. Neben dem Normalverhalten des Fahrers als Merkmal (vgl. Ausführungen verkehrstechnische Taxonomien in Kap. 3.1.1) können hierzu auch Verhaltensauffälligkeiten (Unfälle) oder Konfliktsituationen herangezogen werden.

Für eine Verwendung zur Sichtbereichseinteilung sollten allerdings folgende Anforderungen berücksichtigt werden:

- Repräsentativität: Allgemeingültigkeit der abgeleiteten Einteilung / Gewichtung
- Zuordnung von Sichtbereichen zu verwendetem Merkmal muss möglich sein.
- Zugänglichkeit und Handhabbarkeit der Datenbasis
- Identifizierbarkeit ursächlicher visueller Informationsdefizite (Ausschluss anderer (externer) Einflüsse: Drogen etc.)
- Machbarkeit späterer Untersuchungen innerhalb der Sichtbereiche.

Wie oben beschrieben stellt die Betrachtung des *Normalverhaltens* nach BENDA et al. (1985) bzw. die Verwendung entsprechender Taxonomien (FASTENMEIER 1995) eine repräsentative Datenbasis dar, da sie das Verhalten beschreibt, das ein Fahrer *i.d.R.* zeigt. Die schiere Zahl der unterschiedlichen Verkehrssituationen steht jedoch in krassem Gegensatz zu einer effizienten Nutzung (Zuordnung von Sichtbereichen, Integration in weiterführende Versuche zur Feinunterteilung).

Konfliktsituationen als Einteilungsmerkmal bieten den Vorteil, dass sie gegenüber der Unfallsituation auch jene Ereignisse umfassen, die kritisch sind, jedoch nicht in einem Unfall gemündet sind. Dies jedoch stellt wiederum das Hauptproblem hinsichtlich der Verfügbarkeit / Zugänglichkeit bzw. Repräsentativität und Vollständigkeit dieser Daten dar. Wie können Konfliktsituationen repräsentativ und flächendeckend ermittelt werden, wenn diese nicht in dokumentierten Unfallereignissen münden. Daher wird die Beobachtung von Konfliktsituationen häufig nur im ortfesten Kontext z.B. zur Analyse der Leistungsfähigkeit von abgegrenzten, verkehrstechnischen Anlagen angewendet (vgl. ERKE, ZIMOLONG 1978, FASTENMEIER 1995).

Bei der Verwendung von *Verhaltensauffälligkeiten* (Unfällen) wird ein Kompromiss zwischen Erhebbarkeit des Merkmals und Allgemeingültigkeit eingegangen. Während die Dokumentation eines Unfallgeschehens an sich weitestgehend gewährleistet ist, sind es wie oben beschrieben jedoch nur die drastischen Auswirkung von Konfliktsituationen, die Eingang in die quantitative Beschreibung finden. Andererseits findet hierdurch eine willkommene Reduktion der zu betrachtenden Merkmale auf einen handhabbaren Umfang statt, die sich zudem zwangsläufig an der Kritikalität der Konfliktsituation bzw. der Wahrscheinlichkeit in einen Unfall zu münden orientiert. Zudem kann in Abhängigkeit der verwendeten Unfalldatenbasis eine Selektion besonderer Einflussfaktoren erfolgen, die nicht mit einem Informationsdefizit in Zusammenhang stehen (überhöhte Geschwindigkeit, Schnee-/ Eisglätte, Drogeneinfluss etc.).

Aus den genannten Gründen stützt sich im weiteren Verlauf die Unterteilung der Sichtbereiche auf die Verwendung von Unfalldaten. Die Assoziation von Sichtbereichen zu Unfallereignissen und die Übertragung der Unfallhäufigkeiten auf die Nutzungshäufigkeit der Sichtbereiche schlagen den Bogen zur quantitativen Beschreibung der Relevanz unterschiedlicher Sichtbereiche bzgl. der Fahrsicherheit.

3.1.3. Abgrenzung und Gewichtung der Teilsichtbereiche

Zur Abgrenzung und Gewichtung der Teilsichtbereiche, gestützt auf statistische Aussagen zur Nutzungsrelevanz und –häufigkeit im Kontext der Fahrsicherheit ist es zunächst nötig eine Datenquelle in geeigneter Form zu erschließen. Wichtig ist hierbei, dass die Unfalldatenbasis die Zuordnung der Verkehrssituation, die dem Unfallgeschehen vorausgegangen ist, und entsprechendem Sichtbereich erlaubt.

Für die klassische Unfallforschung stellt dies zunächst ein Dilemma dar. Während die Betrachtung und Beschreibung individueller Unfälle als Einzelereignis (mikroskopischer Ansatz) in der Lage ist das komplexe Unfallgeschehen mit nahezu allen relevanten Einflussfaktoren abzubilden, bedarf es für eine statistische Beschreibung von Unfällen grundsätzlich einer Reduzierung der Beschreibungsparameter auf eine standardisierte Struktur (und Umfang) um den Erfordernissen einer systematischen Datenerfassung in Datenbanken Genüge zu tun (vgl. HANDKE 1996, 74). Dies wiederum beschränkt jedoch die nachgelagerte, statistische Analyse ebenso auf diesen reduzierten Umfang an Beschreibungsparametern und steigert die Gefahr, dass Informationen verloren gehen und Abhängigkeiten nicht erfasst werden (HARTMANN 1970, 2 und HANDKE 1996, 2).

Typischerweise enthalten Unfalldatenbanken Daten, die das Unfallgeschehen in Entstehung und Verlauf unmittelbar beschreiben, sowie Bezugsdaten, welche als begleitende Faktoren aus dem Umfeld das Unfallgeschehen passiv beeinflussen (Straßenverhältnisse, Ortslage, Witterung (HANDKE 1996, 51-52)). Dabei ist die Datengliederung gesetzlich durch das „Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz“ (StVUnfStatG) geregelt, das die Beschreibung anhand von Kernvariablen (Unfallfolge, Unfalltyp, Unfallursache und Unfallart) vorsieht.

Erfasst werden somit:

- der Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation, aus der der Unfall entstanden ist (Unfalltyp),
- die Art und Weise der Kollision der Verkehrsteilnehmer (Unfallart)
- ein Hinweis auf ein ursächliches Fehlverhalten der Beteiligten (Unfallursache) sowie
- die Schwere der Unfallfolgen

Auswahl der verwendeten Datenquelle

Um eine Einteilung der Sichtbereiche auf unfallstatistische Daten zu stützen, muss es die Datenbasis anhand der bereitgestellten Unfalldaten ermöglichen, der jeweiligen Unfallsituation eine „Blickbehinderung durch Karosseriebauteile“ als Unfalleinfluss bzw. Unfallursache zuzuordnen. Die herkömmlichen Unfallstatistiken des statistischen Bundesamtes lassen dies nur unzureichend zu. Die Fokussierung der Polizei bei Unfallaufnahme auf die Klärung der Schuldfrage bedeutet eine Fokussierung auf Gesetzesüberschreitungen und Regelverstöße. Weniger interessant ist hierbei die (wissenschaftliche) Untersuchung der wirklichen Zusammenhänge bzw. ggf. ursächlicher Informationsdefizite (vgl. HANDKE 1996, 103 und OTTE et al. 2009b, 122). Generell sind Anzahl und Untergliederung der aufgenommenen Variablen zu gering, um ein wirkliches Verständnis für das Unfallgeschehen zu ent-








wickeln. Für die im Kontext der Arbeit wichtige Pre-Crash-Phase wiegt dieser Mangel besonders schwer. Weiterhin führen nach HANDKE (1996) und WILTCHKO (2004) mangelnde Schulung und unzureichend strukturierte Variablen zu vielen nicht näher spezifizierten Unfällen („sonstige Ursachen“) die sich somit nicht als Datenbasis für eine Sichtbereichseinteilung heranziehen lassen.

Als Alternativen lassen sich grundsätzlich folgende Datenquellen ausmachen:

- Datenbanken einzelner Polizeidirektionen: Hier sind Verkehrsunfallanzeigen noch in roher, nicht aggregierter Form (Verkehrsunfallstatistik) vorhanden, was somit ein breiteres Spektrum an Informationen und Auswertungsmöglichkeiten bietet. Die dezentrale Zugänglichkeit über die einzelnen Polizeidirektionen steht einer effizienten Verwendung jedoch entgegen.
- Statistiken der Fahrzeugversicherer: Die Schadensakten und Unfalldatenbasen der Fahrzeugversicherer sind öffentlich meist nicht zugänglich.
- Wissenschaftliche Unfallanalysedatenbanken, Statistiken und „In-Depth“ Studien: Auch hier ist der Zugang meist nur über eine Mitgliedschaft in einem Konsortium möglich, das die Studie finanziell unterstützt. (Überblick vgl. TOMASCH 2007).

Im Allgemeinen sind In-Depth-Datenbanken Unfalluntersuchungen, deren Struktur und Erhebung nach wissenschaftlichen Ansprüchen entwickelt wurden. So wird beispielsweise im Falle der „German In-Depth Accident Study“ (GIDAS) anhand eigener, spezieller Unfallaufnahme-Teams vor Ort die Begrenzung der Datenaufnahme durch die Polizei umgangen und ein erheblich größerer Umfang an Daten bzgl. der beteiligten Personen, der Fahrzeuge, der Verletzungsschwere etc. erhoben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte über den Projektpartner auf die GIDAS-Unfalldatenbank zugegriffen werden. GIDAS enthält explizit Variablen, die den Einfluss der „Blickbehinderung durch Karosserieteile“ erfassbar macht. D.h. es ist möglich jene Unfälle zu identifizieren und zu quantifizieren, bei denen ein visuelles Informationsdefizit ursächlich war. Zusätzlich wird jedem aufgenommenen Unfall ein sog. GDV-Unfalltyp zugeordnet, der es ermöglicht die vorhergegangene Konfliktsituation, d.h. die verkehrstechnische Konstellation der Beteiligten (der Verkehrsvorgang), die zum Unfall geführt hat (z.B. das Zusammentreffen eines Fahrzeugs mit einem die Fahrbahn überschreitenden Fußgänger) zu definieren .

Tabelle 3.1: GDV-Unfalltypen-Systematisierung (Piktogramme gemäß GDV 2007)

Unfalltyp	Name	Beschreibung	Beispiel
1	Fahrerunfall	Der Fahrer verliert die Kontrolle über das Fahrzeug, z.B. aufgrund überhöhter Geschwindigkeit ohne dass andere Verkehrsteilnehmer aktiv dazu beitragen	
2	Abbiege-Unfall	Ursächlich ist ein Konflikt mit einem Verkehrsteilnehmer (z.B. Kfz, Fahrrad, Fußgänger) aus gleicher oder entgegengerichteter Richtung, der sich an Kreuzungen, Radwegen und Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten ereignet.	
3	Einbiegen/ Kreuzen- Unfälle	Ähnlich Typ 2, durch Konflikte an Kreuzungen, Einmündungen und Ausfahrten ausgelöst, jedoch zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtsberechtigten.	
4	Überschreiten- Unfall	Grundlegend ist hier ein Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem die Fahrbahn überschreitenden Fußgänger, sofern der Fußgänger nicht in Längsrichtung lief und das Fahrzeug nicht abgebogen ist.	
5	Unfall durch ruhenden Verkehr	Unfall durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem geparkten/angehaltenen Fahrzeug, bzw. einem Fahrzeug in einem Parkmanöver.	
6	Unfall im Längsverkehr	Beide Beteiligten bewegen sich in gleiche oder entgegengesetzte Richtung, sofern der Konflikt nicht bereits durch einen anderen Typ erfasst ist. Bsp.: Fahrstreifenwechselunfälle mit einem gerade überholten Fahrzeug oder das Auffahren auf ein anderes Fahrzeug an einer Ampel.	
7	sonstige Unfälle	Unfälle, die nicht Typ 1-6 zugeordnet werden können. Bsp.: plötzlichen Fahrzeugschäden, Konfliktsituationen beim Wenden und Rückwärtsfahren, bei Rangiermanövern, bei denen der fließende Verkehr nicht beeinträchtigt wird, oder Unfälle durch Hindernisse auf der Fahrbahn.	

Grundsätzlich werden sieben Unfalltypen unterschieden (Tabelle 3.1, nach FGSV 2003, 79-92), die jeweils in bis zu 50 Untertypen auffächern und zur eindeutigen Beschreibung dreistellig codiert sind (Abbildung 3.4). Im GDV-Unfalltypenkatalog werden sie entsprechend detailliert kategorisiert (GDV 2007).

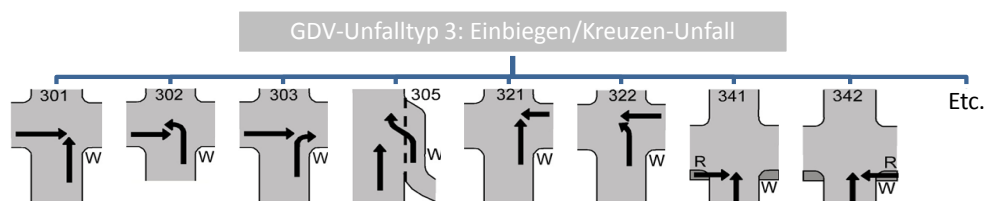


Abbildung 3.4: Untertypen des Unfalltyps 3 "Einbiegen/Kreuzen-Unfall"

Diese Information erlaubt es, zu identifizieren, welcher Sichtbereich aus Sicht des Fahrers in dem jeweils assoziierten Unfallgeschehen relevant gewesen sein muss. So können in Verbindung mit der Information „Sichtbehinderung durch ein Karosseriebauteil“ gezielt jene Unfälle aus der Datenbank gefiltert werden, bei denen zum einen ein visuelles Informationsdefizit ursächlich war, und es lässt sich zudem eine Aussage darüber treffen, welcher Sichtbereich davon betroffen ist. Damit kann das Blickverhalten in den jeweiligen Konfliktsituationen gezielt erfasst und als Bewertungsgrundlage wie oben beschrieben herangezogen werden.

Ableitung einer gewichteten Sichtbereichseinteilung

Umgekehrt lässt sich daraus aber auch eine Häufigkeitsverteilung Sichtdefizit-verursachter Unfälle über die Gesamtrundumsicht des Fahrzeugs darstellen und somit eine Gewichtung einer groben Einteilung der Rundumsicht realisieren.

Analyse der Datenbasis

Die für die Gewichtung der Teilsichtbereiche untersuchte Datenbasis der GIDAS-Datenbank umfasst 20.130 dokumentierte Unfälle, (Stand Frühjahr 2010). Mittels verschiedener Reduktionsschritte wird diese Grundgesamtheit auf die relevante Teilmenge „Unfälle mit Blickbehinderung im Fahrzeug“ reduziert. Im Einzelnen werden folgende Einschränkungen getroffen:

1. Unfallverursacher: PKW:

Es werden nur jene Unfälle betrachtet, die maßgeblich von PKW verursacht worden sind. Dies stellt sicher, dass ein Fehlverhalten des PKW-Fahrers ursächlich war, was durch ein Sichtdefizit verursacht sein könnte.

2. Filterung nach Unfalleinfluss „Blickbehinderung im Fahrzeug“:

Zur weiteren Eingrenzung der Teilmenge aus 1 werden nun nur jene Unfälle betrachtet, die durch eine Sichtbehinderung im Fahrzeug beeinflusst waren. Hierzu stellt GIDAS folgende zwei Variablen zur Verfügung:

a. Befragung nach Sichtbehinderung im Fahrzeug „SBINNEN“ („SichtBehinderung-INNEN“):

Im Rahmen der GIDAS-Datenerhebung werden seit dem 01.01.2005 Fragebögen verwendet, die direkt von den Unfallbeteiligten ausgefüllt werden und gezielt nach einer Sichtbehinderung im Fahrzeug fragen. Es wird in 11 Antwortkategorien unterschieden – Kategorie 3 „Teile der Karosserie“ ist maßgebend für die weitere Reduktion der Teilmenge.

b. Analyse der Unfalleinflussfaktoren nach „ACASS“: „*Blickbehinderung durch Karosserieteile*“

Kritik am Unfallursachenkatalog der amtlichen Verkehrsunfallanzeige (SEECK 2009) führte zur Entwicklung einer Methode, die das Ursachenspektrum bereits ab der Unfalleinleitungsphase abdeckt und wissenschaftlichen Ansprüchen somit besser gerecht werden kann. Die Integration dieser Methode in GIDAS erfolgt in Form von „ACASS“ (Accident Causation Analysis with Seven Steps). Basierend auf einem psychologischen Modell, das die menschliche Informationsverarbeitung als sequentielle Folge von sieben Schritte beschreibt, weist es jedem Schritt (Fehler-Kategorie) anhand assoziierter Indikatoren den dort entstehenden menschlichen Fehler (Merkmalsausprägung) zu (vgl. OTTE et al. (2009a), OTTE et al. (2009b)). Eingang in die Auswertung finden alle Unfälle, die seit Einführung der ACASS-Methodik (01.01.2008) mit dem Codierungsschlüssel 1-1-03-5 aufgeführt sind sowie 2 weitere aus 2007, die nachträglich mit dem ACASS-Verfahren bearbeitet wurden.

Hierbei steht der Codierungsschlüssel 1-1-03-5 für:

- 1: Situativ wirkende menschliche Einflussfaktoren –
- 1: Informationszugang –
- 03: Information verdeckt durch fahrzeuginterne Objekte –
- 5: Fzg.-Säulen u. andere Baugruppen

3. Konsolidierung von Schritt 2 a) und b) zur Eliminierung von Duplikaten:

Da GIDAS trotz der 20130 Unfälle umfassenden Datenbasis noch relativ jung ist, befinden sich die Erhebungsmethoden in einem steten Wandel bzw. werden diese weiterentwickelt und neue kommen hinzu. Zudem hinkt die vollständige Erhebung der Daten der Aufnahme der Unfälle in die Datenbank etwas hinterher. D.h. es finden sich für einen gewissen Zeitraum unvollständige Unfalldatensätze in der Datenbank. Aus diesem Grund wird auf beide oben genannten Variablen zur Identifikation der Unfälle mit Blickbehinderung im Fahrzeug zurückgegriffen. Um Doppelnennungen von Unfallereignissen auszuschließen, werden die Teilmengen konsolidiert.

4. Ausschluss weiterer Einflussfaktoren, die den Einfluss „Sichtbehinderung“ ggf. überlagern:

Um parallel zur Sichtbeeinträchtigung wirkende Einflüsse aus Alkohol- oder Drogenmissbrauch, Suizid, technischer Mangel auf die Unfallentstehung aus der Betrachtung zu exkludieren, wird die Teilmenge entsprechend sukzessive bereinigt.

5. Zuordnung der Einzelunfälle zu den assoziierten Sichtbereichen anhand der GDV-Klassifikation:

Tabelle 3.2 zeigt dieses Vorgehen für eine Einteilung der Rundumsicht in die vier Teilsichtbereiche (Front, Seite links, Seite rechts, Heck (Spiegelsicht, Umblickhaltung) unter Anwendung der Methodik nach Abbildung 3.6.

Die Anwendung von Schritt 1-4 auf GIDAS gemäß Ihrer Erhebungszeiträume führt zur Reduktion von 20130 auf 74 konsolidierte „Unfälle mit Blickbehinderung im Fahrzeug“ ohne verfälschende Einflüsse gemäß Punkt 4 (vgl. Abbildung 3.5). Weitere acht Unfälle müssen wegen fehlendem GDV-Unfalltyp aussortiert werden.

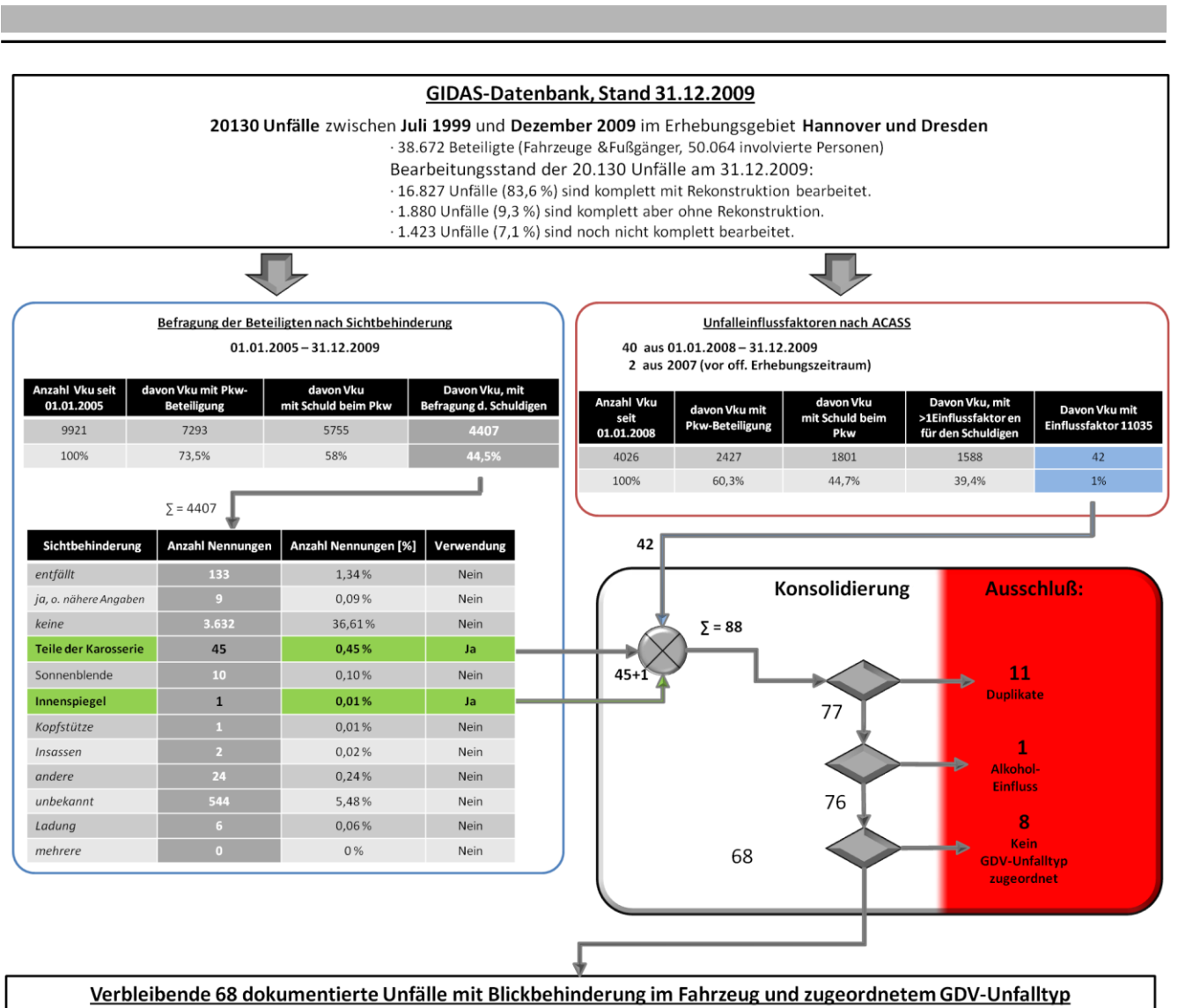


Abbildung 3.5: Datenanalyse "Unfälle mit Blickbehinderung" mit sukzessive Eingrenzung.

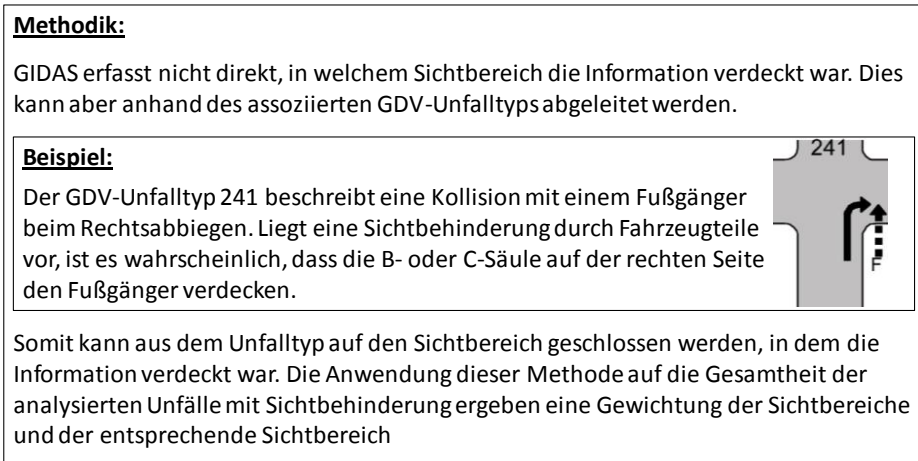


Abbildung 3.6: Methodik zur Bestimmung des betroffenen Sichtbereichs als Grundlage zu deren Gewichtung.

Tabelle 3.2: Zuordnung der analysierten 68 Unfälle (32 GDV-Unfalltypen) zu den Sichtbereichen (bei nicht eindeutiger Zuordnung wird gleichgewichtet verteilt (Bsp.: 571); Unfalltyp 501 und 652: Karosserieinduzierte Sichtdefizite erscheint unplausibel)

Nr.	Unfalltyp (GDV)	Häufigkeit ($\Sigma = 68$)	Front	Seite (links)	Seite (rechts)	Heck (Spiegel)	Heck (Umblicken)
1	102	1	1				
2	121	1	1				
3	202	1		1			
4	211	3	3				
5	221	1	1				
6	222	1	1				
7	241	1			1		
8	243	5			5		
9	301	1	1				
10	302	8	8				
11	303	4	4				
12	305	1			1		
13	321	8	8				
14	322	2	2				
15	341	3	3				
16	342	1	1				
17	431	1	1				
18	451	1	1				
19	454	1	1				
20	501	1	X	X	X	X	X
21	551	1		1			
22	571	1			0,5		0,5
23	581	1		1			
24	631	2		1		1	
25	635	1		1			
26	644	1			1		
27	646	1			0,5		0,5
28	652	1	X	X	X	X	X
29	682	1	1				
30	713	5					5
31	715	2		1			1
32	721	5		2,5		2,5	
Summe:		68/66	38	8,5	9	3,5	7
Gewichtung: [%]		100%	57,6%	12,9%	13,6%	5,3%	10,6%

Die oben beschriebene Unfalldatenanalyse ergibt die in Tabelle 3.2 gelistete und in Abbildung 3.7 dargestellte Grobgewichtung der 4 Sichtbereiche. Der Frontsichtbereich stellt erwartungskonform mit ca. 58% den am stärksten gewichteten Bereich dar.

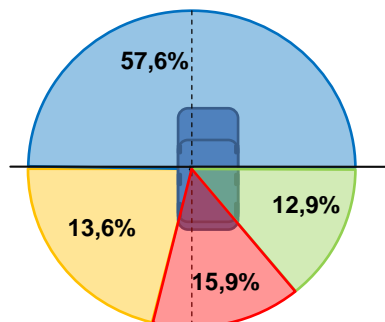


Abbildung 3.7: Einteilung der Rundumsicht in vier Teilsichtbereiche, Gewichtung entsprechend der Analyse der GIDAS-Datenbank anhand von 20130 Unfällen

Zwar hängt grundsätzlich die Gewichtung der Teilsichtbereiche von Anzahl, Größe und Lage der Einzelelemente der Rundumsichteinteilung ab und Abbildung 3.7 impliziert zudem fixe Winkelgrenzen

zwischen den einzelnen Teilsichtbereichen. Eine zu harte und genaue Abgrenzung der vier Hauptsichtbereiche gegeneinander erscheint aber vor dem Hintergrund der Gewichtung mittels Unfalldaten und der Zuordnung des assoziierten groben Sichtbereichs als nicht sinnvoll, weil keine Datenbasis diese Granularität bzgl. der Sichtrichtung aufweisen kann. Es soll daher bereits hier darauf hingewiesen werden, dass die genauen Winkelgrenzen der groben Sichtbereiche in dieser Arbeit von untergeordneter Bedeutung sind und vielmehr auf die feinere Unterteilung innerhalb der Hauptsichtbereiche mit entsprechenden Versuchskonzepten eingegangen wird. So liegt die Grenze zwischen Front- und Hecksichtbereiche (Abbildung 3.7) etwa im Bereich der Seitenscheiben. Somit ist es relativ egal, wo dies genau passiert, solange die Verdeckung der A-Säule im Frontsichtbereich stattfindet und die B-Säule außerhalb des Frontsichtbereichs liegt. Im weiteren Verlauf wird die Seitensicht auf die Sichtbedingungen an der B-Säule als dominantes Karosseriebauteil konzentriert. Somit wandert der Übergangsbereich zur Hecksicht in den Bereich der hinteren Fensterflächen. Die hinteren Dachsäulen fallen dann wiederum in den Hecksichtbereich.

3.2. Modell einer sichtbedarfsorientierten Gesamtbewertung

Im vorliegenden Kapitel wird ein Modell beschrieben das die Rundumsicht in einem PKW auf Grundlage einer objektiven Datenbasis gewichtet in Teilbereiche untergliedert und damit einer feineren, teilbereichspezifischen Untersuchung zugänglich macht. Entsprechend diesem Modell, muss sich in den folgenden Kapiteln die arbeitswissenschaftliche Ermittlung des Sichtbedarfs des Fahrers in diesen vier einzelnen grob gewichteten Hauptsichtbereichen anschließen um die quantitative Beurteilung der Sichtbedingungen *innerhalb* der Teilbereiche zu ermöglichen. Die so ermittelbaren Teilergebnisse können als (Teil-) Erfüllungsgrade des Sichtbedarfs in den Teilbereichen aufgefasst werden und können dann wiederum mittels der oben entwickelten Grobgewichtung zu einem *Gesamtsicht*-Ergebnis aggregiert werden.

Das Gesamtergebnis "*Gesamtsicht*" der Sichtuntersuchung gemäß dem entwickelten Modell stellt sich also als gewichtete Summe (entsprechend der Gewichtung G_i der groben Hauptsichtbereiche) der Teilerfüllungsgrade E_i der einzelnen Sichtbedarfe in den Teilsichtbereichen dar, für die in den folgenden Kapiteln detailliert bestimmt werden müssen.

Formal kann dies wie folgt ausgedrückt werden:

$$Gesamtsicht = G_{Front} \cdot E_{Front} + G_{Seite} \cdot E_{Seite} + G_{Heck,fern} \cdot E_{Heck,fern} + G_{Heck,nah} \cdot E_{Heck,nah}$$

Mit den Randbedingungen für die Summe der Gewichte der Teilsichtbereiche G_i :

$$G_{Front} + G_{Seite} + G_{Heck,fern} + G_{Heck,nah} = 100\%$$

Mit den konkreten Ergebnissen der Unfalldatenanalyse aus Kapitel 3.1.3 zur Gewichtung der Hauptsichtbereiche ergibt sich:

$$Gesamtsicht = 0,576 \cdot E_{Front} + 0,136 \cdot E_{links} + 0,129 \cdot E_{rechts} + 0,053 \cdot E_{Heck,fern} + 0,106 \cdot E_{Heck,nah}$$

4. Bestimmung des Frontsichtbedarfs

Ziel des vorliegenden Kapitels ist die Bestimmung des Sichtbedarfs im Frontsichtbereich. Hierzu kommt ein Versuchskonzept zum Tragen, dass sich der Blickverteilung des Fahrers in ausgewählten Einzelsituationen bedient und dieses in Form von zweidimensionalen Verteilungen (Heatmaps / 2D-Histogramm), aufgelöst in Raumwinkelkoordinaten, als Bewertungsgrundlage für den Frontsichtbereich zur Verfügung stellt. Die Auswahl dieser Verkehrssituationen orientiert sich wiederum an der zuvor erläuterten statistischen Analyse unfallträchtiger Verkehrssituationen, fokussiert auf den Frontsichtbereich.

Für ein grundlegendes Verständnis der Evaluierung der Bewertungsgrundlage des Frontsichtbereichs ist zunächst aber die Definition einiger Begriffe nötig.

Unter dem Begriff „*Frontsichtbereich*“ soll qualitativ jener Raumwinkelbereich verstanden werden, der durch die Gesamtheit aller Sichtstrahlen des Fahrers nach außen mit negativer X-Komponente (Fahrzeugkoordinaten vgl. Kapitel 2.2) definiert wird. Somit entspricht er dem Raumwinkelbereich einer Halbkugel, deren Mittelachse X-Achsenparallel aus den Augpunkt des Fahrers entspringt und orientiert sich somit an den dreidimensionalen photometrischen Verfahren (Abbildung 4.1).

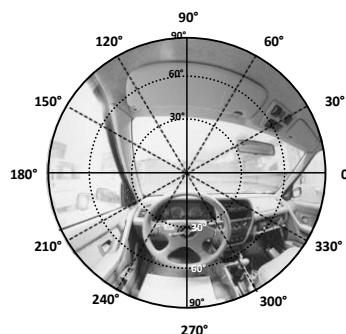


Abbildung 4.1: Definition des Frontsichtbereichs

Der Begriff „*Frontsichtbedarf*“ bezeichnet im Kontext der Arbeit die Gesamtheit der Raumwinkelbereiche innerhalb des *Frontsichtbereichs*, die zur Erfüllung der Fahraufgabe in definierten Verkehrssituationen penetriert werden.

Bei Evaluierung des Sichtbedarfs soll sowohl die Penetrationsrate eines Raumwinkelbereiches als auch die Relevanz der jeweiligen Verkehrssituation, die zu dem Penetrationsmuster (Blickverteilung) geführt hat, in den Sichtbedarf einfließen. Dazu wird die Verteilung der Blickzuwendungsdauer bzw. –häufigkeit innerhalb eines zeitlich abgegrenzten Intervalls (Analyseeinheit Verkehrssituation) in Form von Fixations-Histogrammen über Horizontal- und Vertikalwinkel aufgezeichnet. Das Blickverhalten selbst (erhoben anhand der *Blickdichteverteilung*) wird somit als Indikator für die Lokalisation der relevanten Informationen im Fahrzeug- und Verkehrsumfeld innerhalb definierter Situationen herangezogen.

Unter dem Begriff *Blickdichteverteilung* soll hier also die horizontal- und vertikalwinkelaufgelöste Verteilung der Fixationshäufigkeit bzw. kumulierten –dauer pro Raumwinkel verstanden werden. Darstellen lässt sie sich mittels winkelaufgelöster „Heatmaps“ also farblich kodierter 2D-Histogramme (beispielhaft Abbildung 4.2). Je höher ein Balken in entsprechendem Diagramm ist, desto länger ist der Zeitanteil während dem die Blickrichtung in den jeweiligen Raumwinkelbereich gerichtet war innerhalb der Analyseeinheit für die die Heatmap erstellt wurde.

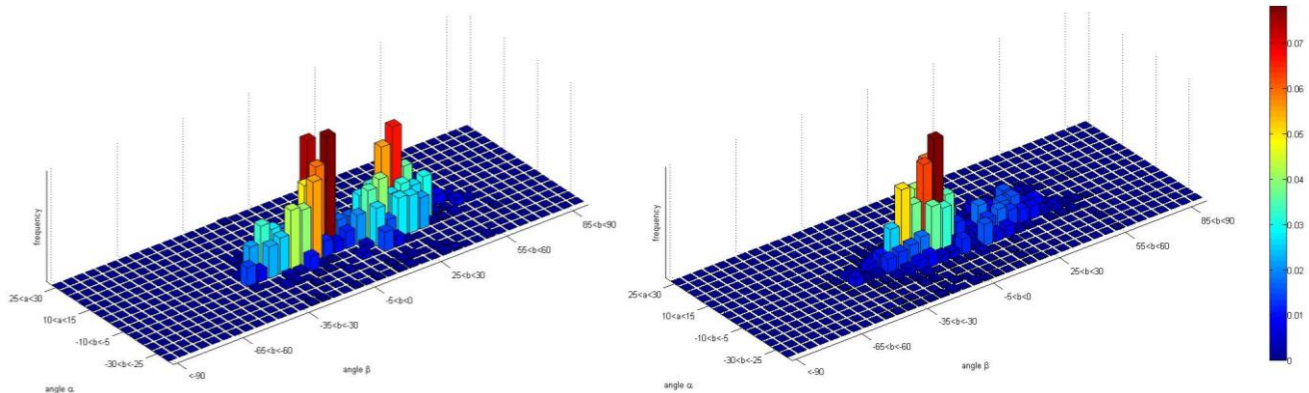


Abbildung 4.2: Typische Blickdichteverteilungen für die Situationen "Überqueren einer Kreuzung mit Stopp-Schild" (links) und "Gegenverkehr gewähren lassen und links abbiegen" (rechts). Horizontal- und Vertikalwinkel sind Winkel des fahrzeugfesten Koordinatensystems (Quelle: Vorversuche im innerstädtischen Verkehrsraum Darmstadts Januar 2009).

4.1. Untersuchungskonzept

Das Konzept zur Evaluierung des Frontsichtbedarfs im Sinne des hybriden Ansatzes sieht vor, die *Blickdichteverteilung* in einzelnen, zeitlich abgrenzbaren, von äußeren Störeinflüssen weitestgehend isolierbaren, fahrsicherheitsrelevanten Verkehrssituationen zu erheben und anschließend gewichtet zu einer Gesamt-Blickdichteverteilung zu superpositionieren.

Es folgt damit der Aussage von PROTEAU (1992) „*visual demands in performing a task are very depending on the task itself*“ die auch SUNDIN & HASSELBLAD (2008) noch einmal motivierend aufgreifen bzw. der Auffassung von FASTENMEIER (1995), der das Blickverhalten des Fahrzeugführers u.a. als eine Funktion der Verkehrssituation begreift. Abbildung 4.3 stellt das Vorgehen detailliert dar.

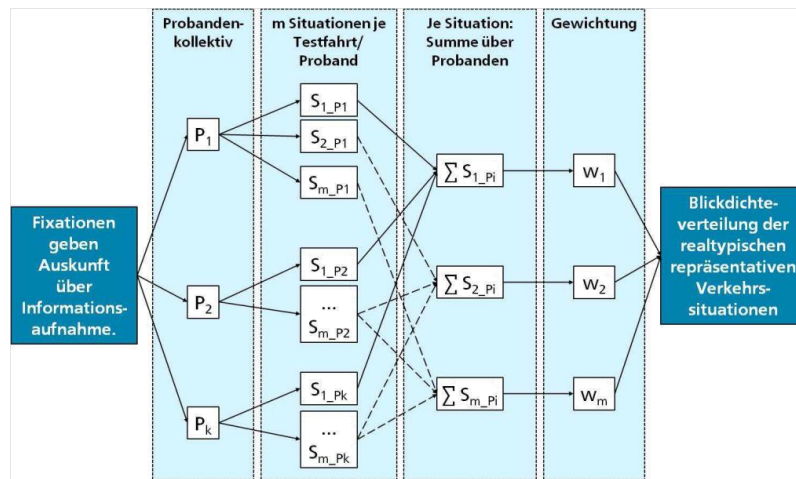


Abbildung 4.3: Superpositionsansatz zur Generierung der gewichteten Gesamtblickdichteverteilung als Sichtbedarf zur differenzierten Beurteilung der Frontsichtverhältnisse.

Ausgehend von der Annahme, dass die Blickverteilung Auskunft über die Informationsaufnahme gibt (und ferner einen Indikator für die Lokalisation relevanter Informationsträger darstellt), werden die Blickdichteverteilungen jedes Probanden eines Probandenkollektivs (1-k) in jeweils m Situationen ermittelt, über dem Probandenkollektiv für die einzelnen Situationen zu einer situationspezifischen Blickdichteverteilung $\sum S_{m, Pi}$ aggregiert und gemäß eines Gewichtungsschlüssels w_m zu einer situationsgewichteten Blickdichteverteilung superpositioniert.

Das Versuchskonzept zielt also darauf ab, mittels der Blickbewegungsanalyse ein Set an Blickdichteverteilungen zu erheben, das repräsentativ für das Blickverhalten bzw. die Blickdichteverteilung und somit die Informationslokalisierung in den entsprechenden typischen Verkehrssituationen (Untersuchungseinheiten) ist. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass weitere Einflüsse seitens des Probanden sowie des Versuchsablaufs und der Versuchsumgebung auf das Blickverhalten beachtet und kontrolliert werden. Die zeitliche Eingrenzung der Verkehrssituation bzw. der Untersuchungseinheit dient der Isolierung der Erhebungsgröße *Blickverteilung* von äußeren Einflüssen. Dies ist insbesondere für den Beitrag des fovealen versus peripheren Sichtbereiches für die Informationsaufnahme von Bedeutung. Weiterhin soll dadurch sichergestellt werden, dass die aufgenommene Blickverteilung situationspezifisch ist und keine – oder zumindest nur in geringem Umfang – nichtverkehrsrelevante Blickzuwendungen aufweist.

Anforderungen an das Versuchskonzept

Um die *Fixationsverteilung* als Indikator der *Informationsverteilung* im Fahrzeugumfeld heranzuziehen, sind Randbedingungen der visuellen Informationsaufnahme zu beachten.

Die zentrale Annahme bei der Analyse der Blickverhaltens und der visuellen Informationsaufnahme und -verarbeitung mittels Blickbewegungsanalyse ist es, dass es bei der detektierten Fixation eines Objektes auch zur Aufnahme und Weiterverarbeitung der an der Fixationsstelle lokalisierten

Informationen kommt. Die Blickbewegungsanalyse vermag es nicht, Informationsaufnahme über das periphere Blickfeld zu analysieren (vgl. SCHLICK et al. 2010). Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass für eine valide Aussage der Blickbewegungsanalyse bzgl. der visuellen Informationsaufnahme das periphere Blickfeld für die Informationsaufnahme im Untersuchungskontext nicht genutzt bzw. seitens des Versuchskonzeptes nicht zur Verfügung gestellt werden sollte.

Im Kontext „Autofahren“ trifft dies aber im Allgemeinen nur eingeschränkt zu. So bezeichnet ROCKWELL (1972) die Fahrzeugführung als Aufgabe, die weitgehend mit Hilfe des peripheren Sichtbereichs ausgeführt wird (vgl. auch HARTMANN 1970). Zwar können Informationen schneller und detaillierter über Fixationen aufgenommen werden (z.B. Lesen von Verkehrszeichen (SHINAR et al. 1977)) bei Fahrten unter *einfachen* Umweltbedingungen ist dies aber nur selten nötig (ROCKWELL 1972). Die Fähigkeiten des peripheren Bereichs reichen i.d.R. aus, um z.B. die Bahnführungsaufgabe zu erfüllen. Gleiches gilt auch für sich lateral nähernde Fahrzeuge. Ein peripher wahrgenommenes Objekt kann darüber hinaus immer noch zur genauen Untersuchung fixiert werden (vgl. MOURANT et al. 1969 und HÖFNER et al. 1973). Bei der Fixation handele es sich lediglich um eine Bestätigung des bereits Entdeckten (ROCKWELL 1972).

Nach COHEN 1994 hängt die Ausdehnung der Informationsaufnahme rund um den Fixationspunkt, und somit der Anteil des peripheren Sehens, jedoch stark von der Komplexität der (Verkehrs-) Situation ab. Der sequenzielle Charakter sowie die Fixationsdauer von ungefähr einer Drittel Sekunde je Fixation zeigen die begrenzte Inputrate visueller Informationsaufnahme. Bei hoher Informationsdichte können nicht alle Informationsträger fixiert werden, der Fahrer muss seine Kapazitäten entsprechend selektiv einsetzen (COHEN 1998). Grundsätzlich kann der periphere Bereich also zur Informationsaufnahme verwendet werden, je höher die Informationsdichte desto stärker entfallen periphere Kapazitäten auf die Auswahl des nächsten Fixationsobjekts, für periphere Informationsaufnahme werden dann weniger bis keine Kapazitäten freigegeben (COHEN 1998). Dieser Zustand wird als „Tunnelsehen“ bezeichnet und ist die „periphere Äußerung von zentraler Überbeanspruchung“ (COHEN 1994).

Soll die Blickbewegungsanalyse also zur Untersuchung der Informationslokalisation verwendet werden ist demnach dafür Sorge zu tragen, dass die jeweilige Fahrsituation (Untersuchungseinheit) so viel Aufmerksamkeit verlangt bzw. Informationsdichte enthält, dass innerhalb dieses Zeitintervalls für eine Informationsaufnahme über das periphere Blickfeld nicht genügend Kapazitäten freigegeben werden können. Nach COHEN (1994) stellen Stadtfahrten (im Gegensatz zu Autobahnfahrten) solche Beanspruchungssituationen dar.

Vereinfacht ausgedrückt heißt dies, dass das Blickverteilungsmuster in Form der Blickdichteverteilung dann eine Aussage über die Relevanz der jeweiligen Raumsichtwinkelbereiche für die Fahrzeugführung zulässt, dass also die Bereiche mit hoher Fixationshäufigkeit auch die Bereiche sind, in denen der Fahrer die für die Bewältigung der Fahraufgabe wichtigen Informationen aufnimmt (vgl.

MACKWORTH et al. 1967, 551 und YARBUS 1967, 192), wenn eine ausreichende Komplexität der Situation vorliegt.

Folgende wesentliche Anforderungen werden somit an das Versuchskonzept gestellt:

1) Inhaltlich:

- a) Es soll reales Fahrverhalten im öffentlichen Straßenverkehr untersucht werden.
- b) Die Versuchsstrecke setzt sich aus Einzelsituationen zusammen, die
 - i) erhöhte Anforderungen an die visuelle Informationsaufnahme des Fahrers stellen und
 - ii) gemäß Unfalldatenanalyse, Unfällen vorgelagerte Situationen darstellen.

2) Versuchsplanerisch:

- a) Der Einfluss des Versuchsaufbaus auf die Probanden soll möglichst gering gehalten werden.
 - i) Außensichtbedingungen des Versuchsfahrzeugs möglichst optimal
 - ii) Blickbewegungsanalysesystem möglichst rückwirkungsfrei
- b) Probandenkollektiv weitgehend repräsentativ hinsichtlich folgender Einflüsse:
 - i) Körpergröße
 - ii) Fahrerfahrung
 - iii) Ortskenntnis
- c) Das Probandenkollektiv darf trotz 1)b) nicht gefährdet werden.

4.2. Versuchsaufbau

4.2.1. Versuchsfahrzeug

Für die Berücksichtigung bzw. Kontrolle des Einflussparameters Versuchsfahrzeug ist es nötig sich das Ziel der Studie noch einmal zu verdeutlichen. Mit der Untersuchung der Blickdichteverteilung soll eine Bewertungsgrundlage in Form einer Gesamt-Blickdichteverteilung für die Frontsicht geschaffen werden, um sie im Rahmen einer späteren Anwendung zur Bewertung eines konkreten Fahrzeugs mit dessen Schattenwurf zu überlagern. Dabei soll die prozentuale Verdeckung der einzelnen Raumwinklelemente der Blickdichteverteilung durch den Schattenwurf der Fahrzeugstruktur zu einem Indexwert aufsummiert werden. Der Optimalfall eines vollständig verdeckungsfreien Autos entspräche also einem späteren Indexwert von 100%. Realexistierende Fahrzeug erhielten Werte < 100%.

Um dies zu gewährleisten ist bei der Erhebung der Datengrundlage darauf zu achten, den Einfluss des verwendeten Untersuchungsfahrzeugs auf die Ausprägung der Heatmaps so gering wie möglich zu halten. Insbesondere A-Säulen und Außenspiegel erzeugen Verdeckungsbereiche und optische Begrenzungen für die Blickbewegung, welche die Blickverteilung beeinträchtigen können (vgl. HUDELMAIER 2003) und in den Heatmaps sprichwörtliche Löcher reißen würden. Denn es ist davon auszugehen, dass ein Fahrer in einer beanspruchenden Situation kein Interesse (Fixation) auf Fahrzeugbauteile (wie z.B. den Säulen) richten wird, sondern vielmehr an ihnen vorbeischaun wird.

Gleichzeitig soll das spätere Tool jedoch zur Beurteilung auch dieser Bauteile verwendet werden können. Demnach bestünde theoretisch die Gefahr, dass das zur Datenerhebung verwendete

Versuchsfahrzeug den späteren Optimalfall „diktiert“, weil zwangsläufig nur dieses optimal in die LÖcher fehlender Blickzuwendung passen würde.

Bei den Versuchen von Scholly wurde dies durch die Verwendung eines „Glaskuppelautos“ (DAIMLER CHRYSLER AG 2001) zu verhindern versucht. Ungeachtet der bislang nicht geklärten Frage, ob das Blick- und Fahrverhalten in einem verdeckungsfreien Fahrzeug ausreichend ähnlich zu jenem in einem herkömmlichen Fahrzeug ist (Vergleichsversuche im Fahrsimulator WOYNA et al. (2011) unterschiedlicher A-Säulen-Geometrie mit einem A-Säulen-freien Fahrzeug haben neben subjektiver Beurteilungsunterschiede zumindest keinen Hinweis auf einen Einfluss der Sichtverdeckung der A-Säule auf die Fahrzeugführung gegeben) und somit nicht klar ist, ob Ergebnisse dann auf das Führen eines herkömmlichen Fahrzeugs übertragbar sind, steht im vorliegenden Fall ein solches Auto nicht zur Verfügung. Allerdings sprechen einige Argumenten dafür, dass der Einfluss eines nichtverdeckungsfreien Fahrzeugs auf die spätere Bewertungsgrundlage relativ klein gehalten werden kann:

- 1) Um die beschriebenen Auswirkungen möglichst gering zu halten, wird an das Versuchsfahrzeug der Anspruch gestellt, dass die Frontsichtverhältnisse unabhängig vom Fahrer möglichst „gut“ sein müssen. Mit dem verwendeten Opel Meriva B wird ein Versuchsfahrzeug ausgewählt, das innerhalb der verfügbaren Fahrzeuge das Optimum bzgl. Frontsicht darstellt. Die angeführte Simulator-Studie aus WOYNA et al. (2011, 192) zeigt ebenfalls, dass die Sichtbedingungen des Versuchsträgers im Bereich der A-Säule („Säule 1“, Abbildung 4.4) signifikant besser bzgl. des subjektiven Sicherheitseindrucks z.B. in Linkskurven im Vergleich zu den Fahrzeugen mit anderen A-Säulen bewertet (Holm-Sidak-Test, H_0 für Gleichheit der Mittelwerte).

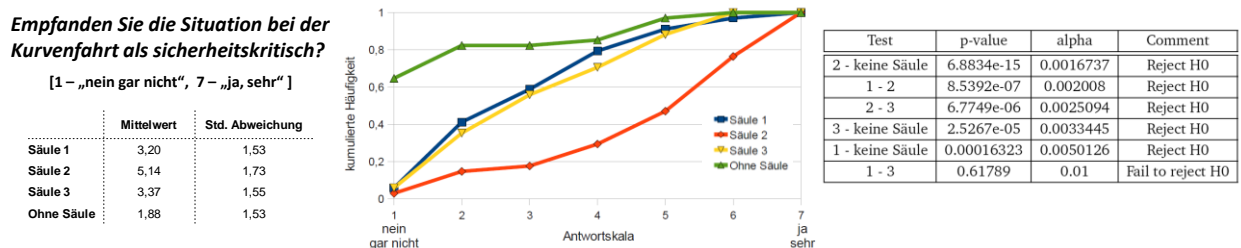


Abbildung 4.4: Teilergebnis der Bewertung der Sichtverhältnisse bei Variation der A-Säule im Simulatorversuch. Ergebnisse der in WOYNA et al.(2011) beschriebenen Versuchsreihe entnommen. Tabelle rechts: Holm-Sidak-Test auf Gleichheit der Mittelwerte (H_0).

- 2) Die Körpergrößenverteilung und somit die Lage der Augpunkte im Fahrzeug bedingt eine Streuung der Lage der Verdeckung in den Heatmaps über das gesamte Probandenkollektiv. D.h. es kommt zu einer „Verwaschung“ des Effektes. Eine nähere Betrachtung hierzu siehe Seite 62.
- 3) Eine effiziente Handhabbarkeit und Verständlichkeit der späteren, auf den Blickverteilungsdaten basierenden Methode bedingt eine Reduktion der zunächst verwendeten Auflösung der erfassten Rohdaten (Blickdichteverteilung) von $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ Raumwinkel. Durch Subsummierung der Blickdichte benachbarter Raumwinkelbereiche ($1,25^\circ \times 1,25^\circ$) werden sie zu größeren Feldern zusammengefasst. Hierdurch kommt es zu einer Mittelung der Blickdichteverteilung in den kumulierten

Feldern und die Information über die Schattenkontur des Versuchsfahrzeugs geht verloren, was den Einfluss der Datenerhebung mit einem nichtverdeckungsfreien Fahrzeug weiter abmildert.

4.2.2. Messausrüstung

Zur Untersuchung des Blickverhaltens steht das kopfbasierte Blickbewegungsanalysesystem iView X der Firma SMI zur Verfügung (Abbildung 4.5). Es basiert auf der sog. Cornea-Reflex-Methode, bei der die Bewegung des Auges unter Einbeziehung der Verschiebung des Cornea-Reflexes auf der Hornhaut berechnet wird. (Der Cornea-Reflex ist die stärkste punktuelle Spiegelung des auftreffenden Lichtes auf der Hornhaut (vgl. BRUDER et al. 2003). Hierzu wird das Auge mit einer Infrarotquelle beleuchtet und Cornea-Reflex sowie Pupillenrand mittels einer Augenkamera aufgezeichnet. Eine zweite kopfbasierte, sog. Scene Camera filmt die vor dem Probanden liegende Umgebung. Nach einer Kalibration des Systems, vermag dieses die aktuelle Blickrichtung des Probanden qualitativ im, von der Scene Camera aufgezeichneten Umgebungsvideo darzustellen (Abbildung 4.6). Dies ermöglicht es, die Blickzuwendung qualitativ, kontextgebunden zu betrachten, um bspw. zu analysieren, wie lange der Proband seinen Blick auf bestimmte Elemente seiner Umgebung gerichtet hat.

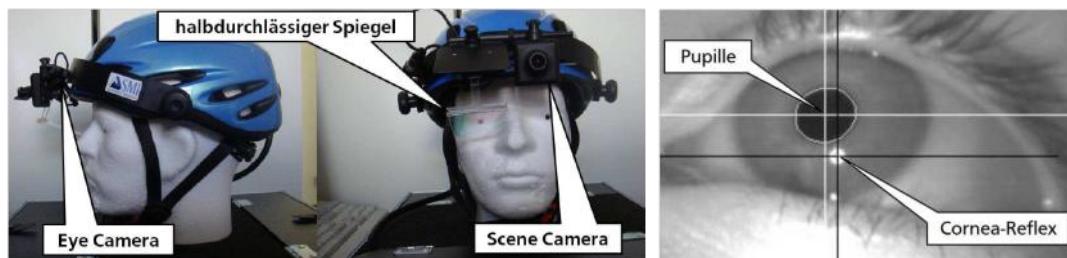


Abbildung 4.5: Kopfgelbundes SMI-Blickbewegungssystem iViewX; Links: der halbdurchlässige Spiegel reflektiert das Infrarotlicht in Auge und dessen Reflexion in die Eye Camera; Die Scene Camera sitzt mittig zwischen den Augen. Rechts: Das Bild der Augenkamera. Pupille und Cornea-Reflex werden von der Auswertesoftware erkannt und markiert.

Solche Aussagen zur Blickzu- und abwendungsdauer sind in der Fahrzeugergonomie z.B. zur Beurteilung von HMI-Konzepten bzgl. Ablenkung interessant. Für den hier zu untersuchenden Kontext „Blickzuwendungsverteilung“ in einer Raumwinkelauflösung muss das System mittels sog. „fiducial markers“, im Innenraum des Versuchsfahrzeugs angebracht, sowie einer speziellen, intern entwickelten Software erweitert werden. „Fiducial markers“ sind Muster, die bildverarbeitungstechnisch, z.B. mittels mathematischer Kreuzkorrelation, eindeutig identifiziert werden können. Im Fahrzeug an einer fixen Position angebracht, dienen sie der Blickbewegungsanalyse als optische Referenzpunkte des fahrzeugfesten Koordinatensystems um die Blickrichtung entsprechend zu referenzieren.



Abbildung 4.6: Scene Video. Schwarzes Quadrat zeigt die aktuelle Blickzuwendung des Probanden. Er schaut in die obere Ecke eines Fensters. Weiter unten im Bild befinden sich zwei der fünf angebrachten fiducial markers.

Die unterschiedlichen Augpunktpositionen der Probanden im Fahrzeug machen es nötig, die Position der Marker probandenspezifisch einzumessen (Abbildung 4.7). Nach der herkömmlichen Kalibration des Blickbewegungssystems schauen die Probanden daher auf einen vor dem Fahrzeug definierten, markierten Punkt (in etwa auf Fahreraugpunkte-Höhe), was dem Blick parallel zur Fahrzeuglängsachse geradeaus in den Horizont entspricht (schwarzes Quadrat, Abbildung 4.7) und nachfolgend als Koordinatenursprung des *fahrzeugfesten Kugelkoordinatensystems (F-KKOS)* definiert wird. Zur Markereinmessung werden nun die Pixeldifferenzen in diesem Videobild ermittelt, die sich zwischen gerade definierten Koordinatenursprung und jeweiligen Markern ergeben. Mittels des Objektivwinkels und der Auflösung des Kamerabildes können aus der Pixeldifferenz der Horizontal- und Vertikalwinkel der jeweiligen Markerpositionen errechnet und somit die o.g. Referenzpunkte bestimmt werden.

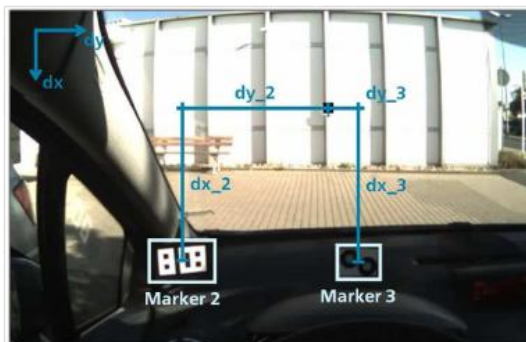


Abbildung 4.7: Schematische Darstellung der Markerkalibration.

4.2.3. **Blickrichtungsanalyse**

Die Kalibration der Markerpositionen dient der Zuordnung von *pixelbasiertem Koordinatensystem (P-KOS)* des Kamerabildes mit dem *fahrzeugfesten Kugelkoordinatensystem (F-KKOS)*. Dreht der Proband den Kopf, verschieben sich die Marker im Videobild und werden an anderen Pixelkoordinaten dargestellt. Da bei der Kalibration aber deren Initialposition im *F-KKOS* festgelegt wurde, kann die aktuelle Markerposition im *P-KOS* stets mit dem inertialen *F-KKOS* abgeglichen werden. Dies ist wichtig, da das SMI-System auch die Position der Blickzuwendung nur als Pixelwertepaare im Kamerabild über den Zeitvektor ermittelt. Durch einen Markererkennungs-Algorithmus, der fortwährend die Pixelkoordinaten der aktuellen Markerpositionen im Videobild ermittelt, wird die Zuordnung des *P-*

KOS des aktuellen Kamerabildes zum fahrzeugfesten *F-KKOS* permanent ermöglicht. Somit ist es zu jedem Zeitpunkt ebenfalls möglich das Pixelkoordinaten-Wertepaar des *Blickzuwendungspunktes* im P-KOS in ein entsprechendes Wertepaar im F-KKOS umzurechnen.

Damit wird schließlich die aktuelle Blickrichtung des Fahrers relativ zum Fahrzeug permanent ermittelbar.

Zur Umsetzung dieses Ansatzes wurde eine Post-processing Software auf Basis von matlab-Simulink entwickelt, der die Videos der Scene-Camera als Ausgangsbasis dienen. Ein Algorithmus (Anhang B) sucht mittels Kreuzkorrelation im Video Frame für Frame nach den Markern und behält die jeweils ermittelten Pixelpositionen. Gleichzeitig kennt die Software die P-KOS-Werte des frame-aktuellen Blickzuwendungspunktes und kann für jedes Einzelbild eine Pixeldifferenz zwischen Markern und Blickpunkt bestimmen und in ein F-KKOS-Wertepaar umrechnen. Somit kann die aktuelle Blickrichtung im F-KKOS (Horizontal- & Vertikalwinkel) ausgedrückt werden. Aufgrund des endlichen Objektivwinkels der Kamera werden fünf verschiedene Marker so im Fahrzeug platziert (Abbildung 4.8), dass stets mindestens zwei im Videoausschnitt sichtbar sind.



Abbildung 4.8: Lokalisation der „Fiducial Marker“ im Versuchsträger (Panoramaaufnahme).

4.2.4. Einfluss der Augpunktposition

Der Augpunkt besitzt im Kontext der vorliegenden Untersuchung eine spezielle Relevanz, die zweigeteilt betrachtet werden muss. Bei der Betrachtung des Einflusses der Augpunktposition auf die Blickverteilung in einem Auto ist zwischen der Position relativ zu den Sichtzielen (Targets) und der Fahrzeugkarosserie (z.B. A-Säule) zu unterscheiden.

Einfluss der Augpunktposition auf Target-Sichtwinkel

Nach einer Untersuchung von FALKMER et al. 2005 fällt der Großteil der Fixationen in einen Bereich von mehr als 5 m vor dem Fahrzeug (Stadtfahrten: 86%, Überlandfahrten: 92%, insgesamt: 90%). Somit kann unter Einbeziehung der Augpunktverteilung im Fahrzeug abgeschätzt werden, wie groß die Winkelabweichungen in der Blickdichteverteilung bei maximaler Augpunktdifferenz ist (Abbildung 4.9). Somit kann überprüft werden, ob die Blickdichteverteilung eines kleinen Probanden mit der eines großen Probanden sinnvoll superpositioniert werden darf oder ob beide Probanden einen an identischer Lokalisation zum Fahrzeug befindlichen Informationsträger an nicht akzeptabel unterschiedlichen Winkelpositionen fixieren würden. Unter Verwendung der real gemessenen Augpunkte des Probandenkollektivs (vgl. Abbildung 4.13, S.66) geht aus Abbildung 4.9 hervor, dass die zu

erwartenden Winkeldifferenzen aufgrund unterschiedlicher Augpunkte in den meisten Fällen kleiner als $1,2^\circ$ sind. Dieser Wert liegt zudem unterhalb der für die Datenerhebung gewählten Auflösung von $1,25^\circ \times 1,25^\circ$. Da in einer späteren Anwendung der Daten zudem von einer größeren Einteilung ausgegangen wird, kann der errechnete Winkelfehler als tolerierbar bezeichnet werden.

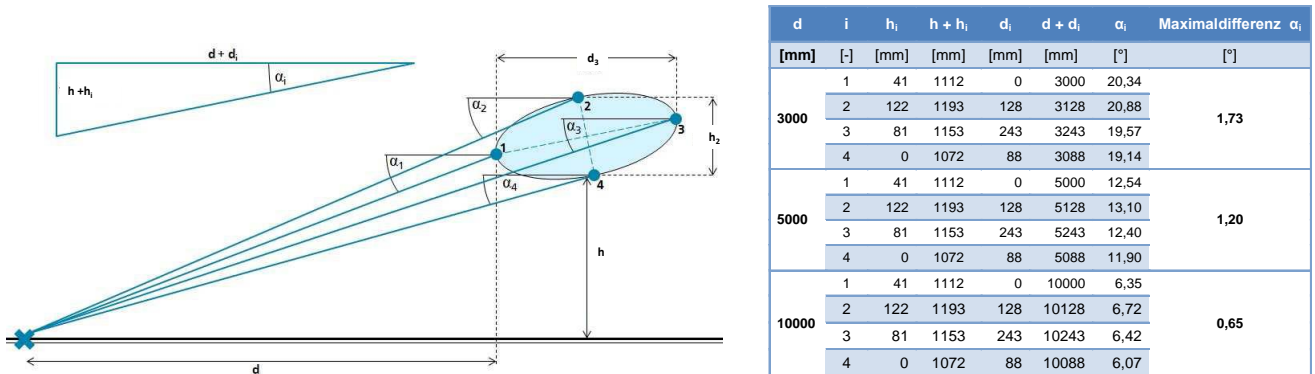


Abbildung 4.9: Einfluss der Augpunktposition rel. zu einem fix vor dem FZG liegendem Punkt auf den Fixationswinkel α (nichtmaßstäblich, Werte gemäß Augpunktverteilung des Probandenkollektivs siehe Abbildung 4.13, S.66). Abschätzung anhand extremer Punkte innerhalb der SAE-Augellipse (1-4) des Versuchsfahrzeugs.

Einfluß der Augpunktposition auf die Lage der fahrzeugseitigen Verdeckung

Bedingt durch die kürzere Distanz der Fahrzeugkarosserie zum Augpunkt stellt sich der Einfluss der Augpunktposition auf die fahrzeugseitige Verdeckung wesentlich kritischer dar (vgl. Abbildung 4.10). Je nach Fahrzeug (Säulenlage und -breite) und Augpunktverteilung (maximaler Ausdehnung der Augpunktverteilung des Probandenkollektivs in X-Richtung) können sich die von der Säule verdecken Bereiche überlappen oder nicht. Die Auswirkungen dieses Effektes zeigt in Abbildung 4.10 (rechts) die Überlagerung der Sichtfelder einer 5.Perzentil-Frau mit einem 95.Perzentil-Mann.

Je nach Augpunktlage und A-Säule verdeckt die A-Säule eines bestimmten Fahrzeugs andere Bereiche des in Polarkoordinaten eingeteilten Sichtbereichs. Dies kann Konsequenzen für das Versuchskonzept und die Ergebnisse haben, die weitestgehend vermieden werden sollten.

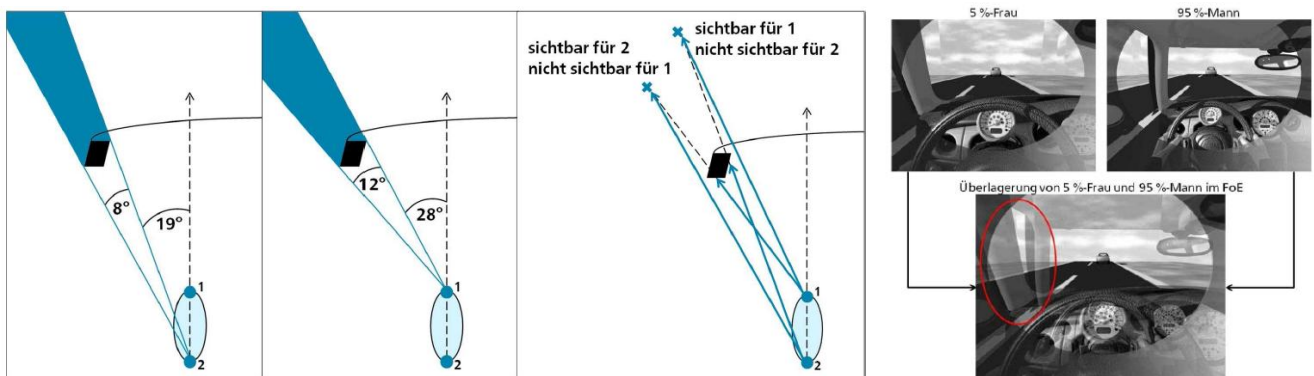


Abbildung 4.10: Links: Sichtwinkel auf A-Säule in Abh. der Augpunktposition, qualitativ für vorn/hinten liegende Augpunkte (1/2). Rechts: Überlagerung der Sichtfelder einer 5%-Frau und eines 95%-Mannes am Polarkoordinatenursprung des Messgitters/Focus of Expansion. Die Verdeckungen der A-Säulen überlagern sich nicht.

Messprinzip zur Erfassung der Augpunktposition

Zur Kontrolle oben beschriebener Einflüsse der Augpunktposition ist es nötig diese probanden-spezifisch zu ermitteln. Eine verbreitete Methode (siehe z.B. SCHOLLY 2006) hierzu stellt die Überblendung eines Messgitters mit einem Profilfoto des Probanden in Fahrhaltung aus derselben Kameraposition (vgl. Abbildung 4.11).



Abbildung 4.11: Methode der Augpunktbestimmung im Versuchsträger: Überlagerung des Augpunktbildes mit einem Bild des Messgitters an definierter Position.

4.2.5. Probandenkollektiv

Das Untersuchungsziel in Form einer allgemein gültigen Sichtbereichseinteilung erzeugt Anforderungen an die Auswahl des Probandenkollektivs, die durch die Verwendung eines nichtverdeckungs-freien Fahrzeugs verschärft werden. Die vorhandenen Fahrzeugstrukturbauteile (A-Säulen) lassen in den Versuchen keine sinnvollen Fixationen in unmittelbar angrenzenden Bereich erwarten. Die sich theoretisch ergebenden Löcher in den Blickverteilungen müssten ggf. für eine spätere Anwendung „geschlossen“ werden. Dies kann u.a. durch eine gezielte Auswahl der Körpergrößen bzw. die Selektion der Augpunktpositionen der Probanden im Auto in weit vorn und weit hinten liegende Gruppen Rechnung erfolgengetragen. Wobei der in Abbildung 4.10 beschriebene Effekt ausgenutzt wird, dass sich die Säulen für die beiden Gruppen in unterschiedlichen Raumwinkellagen befinden. Im Idealfall überlappen sich die Verdeckungsbereiche der Säulen für einen vorne liegenden nicht mit dem eines weit hinten liegenden Augpunktes. Realistisch ist davon auszugehen, dass zumindest eine Verwaschung bzw. eine Minimierung des für kleine und große Fahrer nicht sichtbaren Winkelbereichs eintritt. Abbildung 4.12 zeigt die Abschätzung dieses Bereichs für das verwendete Versuchsfahrzeug unter Berücksichtigung der tatsächlichen Augpunktverteilung des Probandenkollektivs. Der für das gesamte Kollektiv nicht sichtbare Bereich kann gegenüber den Verdeckungsverhältnissen eines Probanden wesentlich verringert werden.

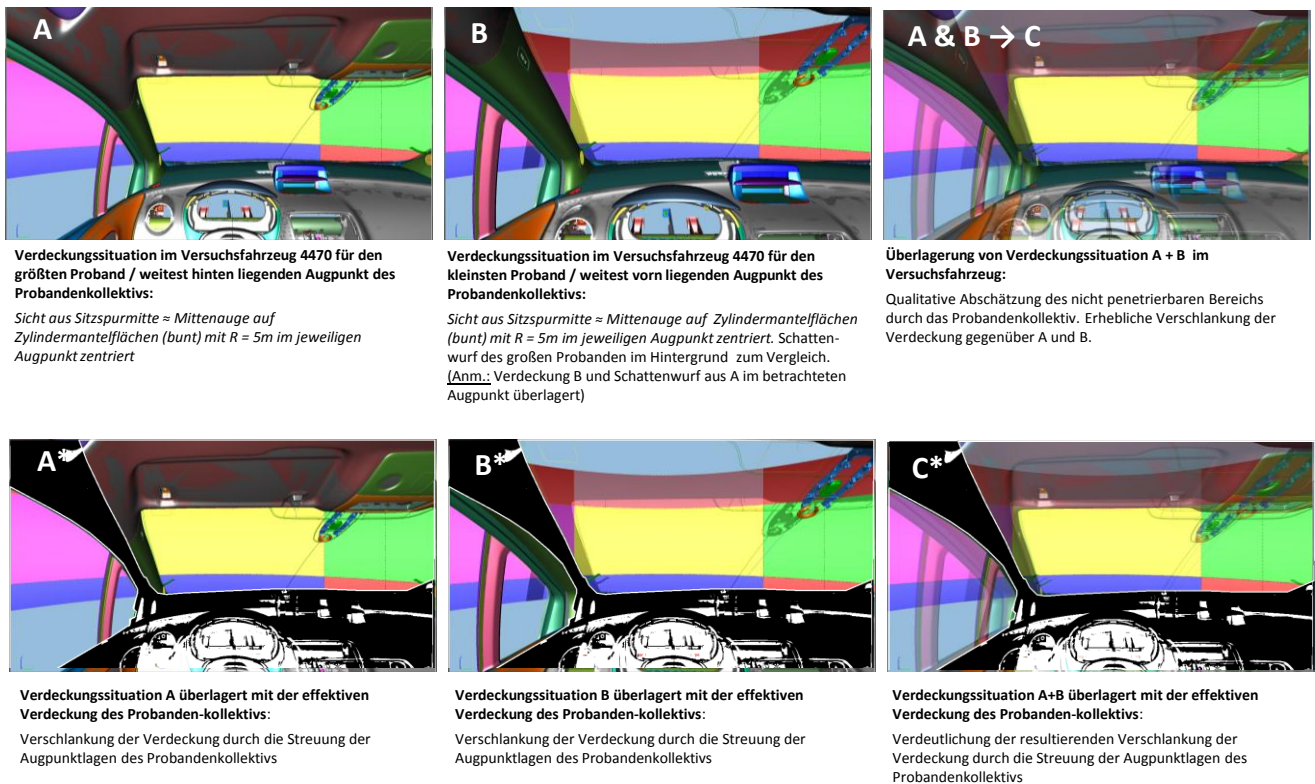


Abbildung 4.12: Effektive Verdeckung des Versuchsfahrzeugs für das verwendete Probandenkollektiv. Abschätzung anhand der extremen Augpunktpositionen des Kollektivs im CAD-Modell.

Folgende Einflüsse des Probandenkollektivs auf die Erhebung müssen ebenfalls beachtet werden:

- Fahrerfahrung
- Ortskenntnis (antrainierte Blickstrategien in bekannten Verkehrsräumen)
- Eingewöhnungsdauer auf ein unbekanntes Fahrzeug.
- Nervosität des Probanden aufgrund der Versuchssituation.
- Versuchsaufbauten im Fahrzeug (Marker und helmgebundene Blickbewegungsanalyse)

Die Relevanz der Fahrerfahrung wurde weiter oben bereits beschrieben. Der Einfluss der Ortskenntnis auf das Blickverhalten dürfte trivial verständlich sein: Ein Proband, der sich in dem Verkehrsraum der Versuchsstrecke auskennt, sie ggf. sogar täglich befährt, wird sich detaillierte Blickmuster antrainiert haben, die ihm eine effiziente und effektive visuelle Informationsaufnahme ermöglichen. Ein unbedarfter Fahrer wird sich zunächst in der Situation orientieren müssen und folglich ein weniger fokussiertes Blickverteilungsmuster erzeugen. Ähnlich verhält es sich mit der Eingewöhnung auf das fremde Versuchsfahrzeug. Die Kontrolle dieser Einflüsse auf die Versuche erfolgt anhand einer Probanden-Befragung (Anhang C). Der Einflussfaktor Nervosität wird zusätzlich anhand eines einfachen, den Versuchsablauf überdauernden, Herzschlagfrequenzmonitorings mit Plausibilisierung der anfänglichen Ruheherzschlagfrequenz kontrolliert.

Im Anhang C ist das Probandenkollektiv hinsichtlich der absoluten und relativen (Kategorisierung) Augpunktlagen in x sowie der genannten Einflüsse gelistet. Die Zuordnung in „vorn“ & „hinten“ wurde jeweils anhand des Abgleichs mit dem Verteilungsmittelwert bei 3081mm getroffen (Abbildung 4.13).

Augpunkt-Verteilung

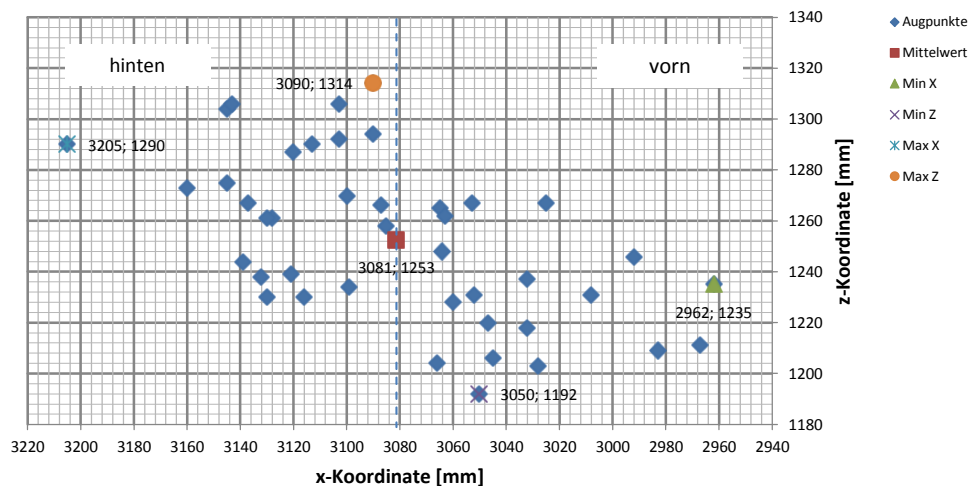


Abbildung 4.13: Augpunkte des Probandenkollektivs. Einteilung in vorn- und hintenliegende Augpunkte. Grenzlinie entspricht dem Verteilungsmittelwert der X-Koordinate.

Bei Proband 14 handelt es sich um einen Fahrlehrer, der die Datenerhebung um das Sollblickverhalten erweitern sollte. Hierzu wurde er aufgefordert während der Versuche so zu fahren, wie er es von seinen Fahrschülern verlangt und insbesondere sämtlich Blickstrategien anzuwenden, die in der Fahrschule als Soll-Verhalten gelehrt werden.

Die Auswertung der Befragung bzgl. der Fahrerfahrung zeigt, dass die Probanden im Mittel eine 10-jährige Gesamtfahrerfahrung von ca. 250.000km (Standardabw.: ~380.000km) aufweisen. Die Kategorisierung in erfahrene und unerfahrene Fahrer wird anhand der Über- bzw. Unterschreitung der Fahrerfahrungsgrenze von 100.000km getroffen. Bzgl. der Ortskenntnis wird auf eine retrospektive Befragung der Probanden bzgl. der Bekanntheit der durchfahrenen Teststrecke zurückgegriffen. Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über das Probandenkollektiv (gemäß Anhang D Tabelle D.1) bzgl. des Auftretens bzw. der Kombinationen der drei Haupteinflussfaktoren auf die Blickdichteverteilungen. Im Wesentlichen sind alle drei Haupteinflussfaktoren hinsichtlich ihrer je zwei Ausprägungsvarianten in etwa gleichverteilt im Probandenkollektiv vertreten.

Tabelle 4.1: Zuteilung des Probandenkollektivs in Untergruppen gemäß der Haupteinflussfaktoren (Augpunktlage in x, Ortskenntnis, Fahrerfahrung).

Augpunkt					
		hinten	vorn		
Ortskenntnis	ja	4	4	hoch	Fahrerfahrung
	nein	10	3	niedrig	
	ja	8	5		
	nein	1	7		
		hinten	vorn	hoch	Fahrerfahrung
		14	7	niedrig	
		9	12		
Ortskenntnis	ja	12	9		
	nein	11	10		

4.2.6. Versuchsstrecke

Der Wahl der Untersuchungsumgebung ist eine wesentliche Bedeutung beizumessen, da die Charakteristika von freiem / kontrolliertem Feld bzw. Labor die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich Aussagefähigkeit und –qualität erheblich beeinflussen. In der vorliegenden Untersuchung wurde bewusst der öffentliche Verkehrsraum als Umgebung gewählt. Die Variation von Verkehrssituationen, wie sie trotz identischer Routenführung aufgrund vieler unabhängiger Variablen (vgl. FASTENMAIER 1995 und LANDAU et al. 2003) weiter auftreten kann, soll hier nicht als Hindernis sondern der notwendigen Integration dieser Vielfalt in den Sichtbedarf dienend verstanden werden.

Untersuchungen im Labor mit 100%iger Situationsreproduzierbarkeit hingegen könnten neben Validitätseinflüssen aufgrund künstlicher Rahmenbedingungen (visuelle / kinästhetische Darstellung / Rückmeldung) Ergebnisse produzieren, deren Validität auf genau die untersuchte Situation beschränkt bleibt. Der Erkenntnisgewinn bzw. die Übertragbarkeit hinsichtlich einer *allgemeingültigen* Sichtbereichseinteilung wäre gemindert.

Entsprechend des vorgestellten Konzeptes zur Unfalldatenanalysebasierten Sichtbereichseinteilung in Kapitel 3.1.3 wird für die Erhebung der situationsspezifischen Blickdichteverteilungen eine Teststrecke benötigt, welche die in Tabelle 3.2 gelisteten Situation bereitstellt.

Die Streckenerstellung erfolgt in mehreren Schritten um systematisch einen realitätsnahen, der Beschreibung der Unfalltypenklassifikation entsprechenden Versuchsaufbau zu generieren:

1. Festlegung charakterisierender Merkmale der GDV-Unfalltypen:

- Welcher Straßentyp & Straßenausbau wird benötigt?
- Welche Bewegungsrichtung des Fahrers liegt vor?
- Anwesenheit und ggf. Bewegungsrichtung eines Gegners gefordert?
- Identifikation & Ausschluss von Situationen mit zu hohem Gefährdungspotential beteiligter Versuchs- und Verkehrsteilnehmer.

2. Streckenkonzeption:

- Situationsfindung mittels Kartenmaterial und Erfahrungswissen / Ortskenntnis:
 - Sammlung von Streckenabschnitten im Verkehrsraum Darmstadts, welche den (beeinflussbaren) Merkmalen der zu integrierenden Situationen entsprechen.
- Streckenvalidierung:
 - Testfahrten zur Überprüfung der gefundenen Teststrecke
 - Vervollständigung der Situationen / finale Streckenvalidierung
- Zuordnung der Verkehrssituationen bzw. möglicher/zu überprüfender Unfalltypen und Zusammenschluss zu einer zusammenhängenden Strecke.

Die sich ergebende Teststrecke (Abbildung 4.14) erstreckt sich über eine Länge von 14,2km fast ausschließlich im innerstädtischen Bereich Darmstadts. Insgesamt sind 56 Situationsnummern enthalten, die je nach Präsenz von „Gegnern“ (Verkehrsteilnehmer, die sich gemäß Beschreibung des assoziierten GDV-Unfalltyps verhalten) potentiell 27 der 32

geforderten Unfalltypen abdeckt. Tabelle 4.2 zeigt die Zuordnung der zu integrierenden GDV-Unfalltypen zu den eingezeichneten Situationsnummern.

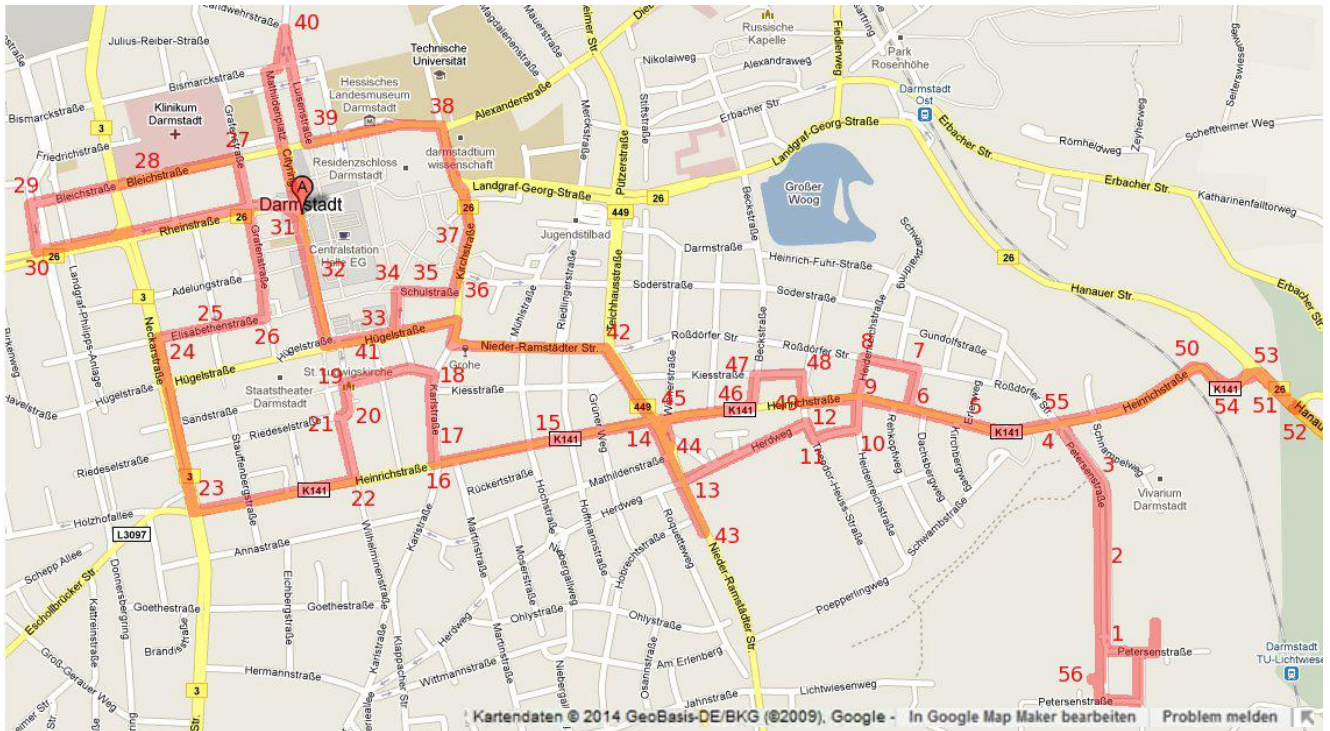


Abbildung 4.14: Versuchsstreckenführung im Innenstadtbereich Darmstadts (Kartenquelle: GOOGLE (2014)) mit zugeordneten Situationsnummern (Nummerierung: eigene Darstellung).

Die Beschränkung der Teststrecke auf den innerstädtischen Bereich resultiert aus der Erkenntnis anderer Untersuchungen, dass die zu erwartenden Blickverteilungsmuster auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen relativ eng verteilt sind und sich typischerweise auf einen engen Bereich der Windschutzscheibe sowie auf die Außen- und den Rückspiegel beschränken. Nach SERAFIN 1994 fallen >50% der Fixationen bei Landstraßenfahrten in den Bereich des sog. FoE (Focus of Expansion) und somit in einen Bereich der i.d.R. nicht von einer Sichteinschränkung durch Karosseriebauteile betroffen ist. Der zu erwartende Erkenntnisgewinn hinsichtlich einer Frontsichtunterteilung und -gewichtung zur Beurteilung der sichtbeschränkenden Fahrzeugstruktur steht somit in keinem Verhältnis zum Aufwand einer Teststreckenerweiterung.

Desweiteren sind 5 der 32 Unfalltypen nicht in der Teststrecke vertreten, da diese entweder ein zu hohes Gefährdungspotential für Versuche im öffentlichen Straßenverkehr besitzen (652), besondere topographische Bedingungen an den Verkehrsraum stellen (341, 342), die im Untersuchungsgebiet nicht anzutreffen sind oder keinen nennenswerten Aussagewert für die Frontsichtunterteilung erwarten lassen (713, 715). Grundsätzlich sollen aber auch jene Situationen berücksichtigt werden, denen ein Bezug zum seitlichen Sichtbereich zugeordnet wird, um die Randbereiche des Frontsichtbereichs abzudecken. Situationen, die einen Bezug zum Hecksichtbereich aufweisen, sind ebenfalls anzutreffen, finden aber in der Auswertung für die Frontsicht keine Beachtung.

Tabelle 4.2: Verkehrssituationsgehalt der Teststrecke und Zuordnung zu möglichem GDV-Unfalltyp (links & Mitte); Häufigkeit der potentiell enthaltenen GDV-Unfalltypen (rechts). Farbliche Kodierung der Zuordnung zu den Sichtbereichen gemäß Tabelle 3.2.

Nr.	Ort	Mögliche Unfalltypen				Nr.	Ort	Mögliche Unfalltypen				zu prüfende Unfalltypen	Häufigkeit
1	Rechts abbiegen: Petersenstr.	102				29	Links abbiegen: Steubenplatz (Ampel)	121				102	12
2	Geradeaus: Petersenstr.	501				30	Links abbiegen: Von Steubenplatz in Rheinstr.	121	211			121	16
3	Geradeaus: Petersenstr.	501				31	Spurwechsel: Von Rheinstr. in Wilhelminenstr.	631				202	1
4	Links abbiegen: Von Petersenstr. in Heinrichstr. (Ampel)	121				32	Spurwechsel: Wilhelminenstr.	631	635			211	10
5	Geradeaus: Heinrichstr.	501				33	Links abbiegen: Von Hölgesstr. in Schützenstr.	121	221	222		221	4
6	Rechts abbiegen: Von Heinrichstr. in Frankenackerweg	243				34	Rechts abbiegen: Von Schützenstr. in Schulstr.	102	241	243		222	4
7	Links abbiegen: Von Frankenackerweg in Roßdörfer Str. (Vorfahrt achten)	322				35	Geradeaus: Schulstr.	431	451	454		241	7
8	Links abbiegen: Von Roßdörfer Str. in Heidenreichstr.	121	211	322		36	Links abbiegen: Von Schulstr. in Kirchstr.	322				243	6
9	Überqueren: Heinrichstr. (Vorfahrt achten)	301	321			37	Spurwechsel: Kirchstr.	646				301	1
10	Rechts abbiegen: Von Heidenreichstr. in Glasbergweg	102				38	Links abbiegen: Von Schloßgraben in Zeughausstr.	121				302	1
11	Rechts abbiegen: Von Glasbergweg in Theodor-Heuss-Straße	102				39	Rechts abbiegen: Von Zeughausstr. in Luisenstr.	102	241			303	1
12	Links abbiegen: Von Theodor-Heuss-Str. in Herdweg	121	211			40	U-Turn: Frankfurter Str.	721				305	1
13	Rechts abbiegen: Von Herdweg in Nieder-Ramstädter Str. (Ampel)	303				41	Spurwechsel: Mathildenerplatz	646				321	1
14	Links abbiegen: Von Nieder-Ramstädter Str. in Heinrichstr. (Ampel)	121	202	211		42	Rechts abbiegen: Nieder-Ramstädter Str.	102	241			322	6
15	Geradeaus: Heinrichstr.	501				43	U-Turn: Nieder-Ramstädter Str.	721				341	0
16	Rechts abbiegen: Von Heinrichstr. in Karlstr. (Ampel)	241	243			44	Geradeaus: Heinrichstr.	431	451			342	0
17	Anhalten und Tür öffnen: Karlstr.	551	581			45	Einfädeln: Heinrichstr.	305				431	3
18	Links abbiegen: Von Karlstr. in Hölgesstr.	121	211	221	222	46	Links abbiegen: Von Heinrichstr. in Beckstr.	121	211			451	3
19	Links abbiegen: Von Hölgesstr. in Wilhelminenplatz	121	322			47	Rechts abbiegen: Von Beckstr. in Kiesstr.	102				454	2
20	Rechtskurve: Wilhelminenplatz	682				48	Rechts abbiegen: Von Kiesstr. in Inselstr.	102				501	5
21	Links abbiegen: Von Wilhelminenplatz in Wilhelminenstr.	121	211	322		49	Links abbiegen: Von Inselstr. in Heinrichstr.	211	302	322		551	1
22	Rechts abbiegen: Von Wilhelminenstr. in Heinrichstr. (Ampel)	102	241	243		50	Rechtskurve: Heinrichstr.	102	682			571	1
23	Rechts abbiegen: Von Heinrichstr. in Neckarstr. (Ampel)	102	241	243		51	Spurwechsel: Hanauer Str.	631				581	1
24	Rechts abbiegen: Von Neckarstr. in Elisabethenstr.	102	241	243		52	U-Turn: Hanauer Str.	721				631	3
25	Geradeaus: Elisabethenstr.	431	451	454	501	53	Links abbiegen: Von Hanauer Str. auf Heinrichstr.	121				635	1
26	Links abbiegen: Von Elisabethenstr. in Grafenstr.	121	221	222		54	Rechtskurve: Heinrichstr.	682				644	1
27	Links abbiegen: Von Grafenstr. in Bleichstr.	121	211	221	222	55	Links abbiegen: Von Heinrichstr. in Petersenstr.	121	211			646	2
28	Spurwechsel: Bleichstr.	644				56	Vorwärts parken: Petersenstr.	571				652	0
<div> <div>GDV-Unfalltypen zugeordnet zum:</div> <div> <div>18x Frontsichtbereich</div> <div>10x Seitensichtbereich (links / rechts)</div> <div>4x Hecksichtbereich</div> </div> </div>													
												682	3
												713	0
												715	0
												721	3

4.2.7. Situationsidentifikation

Die situationsspezifische Analyse des Blickverhaltens macht eine Eingrenzung des kontinuierlichen Blickverhaltens während der Versuchsfahrten in einzelne Analyseeinheiten anhand definierter Kriterien nötig. Dies ist Grundvoraussetzung dafür, dass ein Blickverteilungsmuster einem GDV-Unfalltyp zugeordnet werden kann. Hierzu müssen zeitliche Eingrenzungen vorgenommen werden, die Anfang und Ende der jeweiligen Situation markieren. Da die vorliegende Versuchsreihe im realen Straßenverkehr stattfindet und somit Auftreten und Verlauf von Situationen nur eingeschränkt vorhersagbar und kontrollierbar sind, werden situationsspezifische Trigger-Kriterien für Beginn und Ende möglicher GDV-Situationen definiert und verwendet (Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: Trigger-Kriterien zur Definition von Start- und Endzeitpunkt der jeweiligen GDV-Unfallsituation

Unfalltyp	Definition Startzeitpunkt	Definition Endzeitpunkt
1xx	Lenkrad-Einschlag bzw. Blick in Spiegel	Lenkrad wieder gerade gerichtet
2xx	kein Fzg. mehr vor Ego-Fzg & Fahrer blickt erstmals zur Seite (meist Spiegel)	Situation bzw. Straße bzw. Ampel außer Sicht
3xx	Blick geht erstmals zur Seite	Situation außer Sicht, Fzg. annähernd gerade
4xx	„Gegner“ betritt das Sichtfeld	„Gegner“ außer Sicht
501	stehendes Fzg. auf Höhe der Front des Ego-Fzg. bzw. wird v. Fahrer registriert	parkendes Fzg. außer Sicht
551	Blick in Seitenspiegel	das Fzg. ist wieder auf dem Fahrstreifen
571*	Rückblick über die Schulter	Rückwärtsbewegung des Fzg. ist beendet
581*	Blick in Seitenspiegel	Fahrtür ist wieder geschlossen
682	„Gegner“-Fzg. auf Höhe der Front des Ego-Fzg.	„Gegner“ außer Sicht
721	sobald Gegenverkehr weg	Fzg. wieder gerade

4.3. Ergebnisse

Das Ergebnis der Untersuchung besteht zunächst noch aus einer Menge an einzelnen Blickverteilungen, die probanden- und situationsspezifisch sind. Gemäß des oben skizzierten Ansatzes (vgl. Abbildung 4.3) wird hieraus nach folgendem Vorgehen eine Gesamtverteilung generiert:

- **Plausibilisieren & Subsummieren:** Zunächst werden alle brauchbaren Heatmaps (augenscheinlich unplausible werden aussortiert) des Probandenkollektivs bestimmt und situationsspezifisch, gleichgewichtet zu relativen Blickdichteverteilungen subsummiert, um typische, gemittelte Blickdichteverteilungen für die einzelnen untersuchten Situationen abzubilden. (Anhang E zeigt exemplarisch die subsummierten Blickdichteverteilungen für Situation 302 & 321) Als augenscheinlich unplausibel werden Heatmaps dann angesehen und extrahiert, wenn deren Verteilungsmuster stark von den anderen Heatmaps der gleichen Verkehrssituation abweichen. Beispiele hierfür sind Blickdichteverteilungen,
 - deren absolute Gesamtzahl an Blickzuwendungen ungewöhnlich gering ist und / oder sehr scharf abtrennbare, einzelne Peaks in den Heatmaps erkennbar sind, die keine „Corona“ aufweisen,

- die sich an den Rändern des betrachteten Winkelbereichs konzentrieren,
 - sowie sämtliche Effekte, die nicht plausibel auf tatsächliche Unterschiede im Verhalten der Probanden zurückzuführen sind sondern etwa durch Fehlfunktion oder –bedienung der Messeinrichtung erklärt werden können.
- Superpositionierung zur Gesamtblickdichteverteilung: Anhand des Gewichtungsschlüssels der GIDAS-Analyse werden die o.g. subsummierten, situationsspezifischen Blickdichteverteilungen der *frontsichtrelevanten* Situationen (vgl. Tabelle 4.2) nun gewichtet überlagert, womit der relativen Häufigkeit der analysierten Unfalltypen und den assoziierten Verkehrssituationen Rechnung getragen (vgl. Tabelle 3.2) wird. Weiterhin werden nur jene Situationen ausgewählt, die eine Blickzuwendung innerhalb der vorderen horizontalen 180° Sichtbereich erfordern. Abbildung 4.15 zeigt die resultierende Gewichtungsmatrix zur Superposition dieser Situationen, für die entsprechende Heatmaps ermittelt wurden (gemittelte Heatmaps exemplarisch für Unfalltyp 302, 321, Anhang E). Abbildung 4.16 und Abbildung 4.17 zeigen die hieraus generierte situationsgewichtete Gesamtblickdichteverteilung.

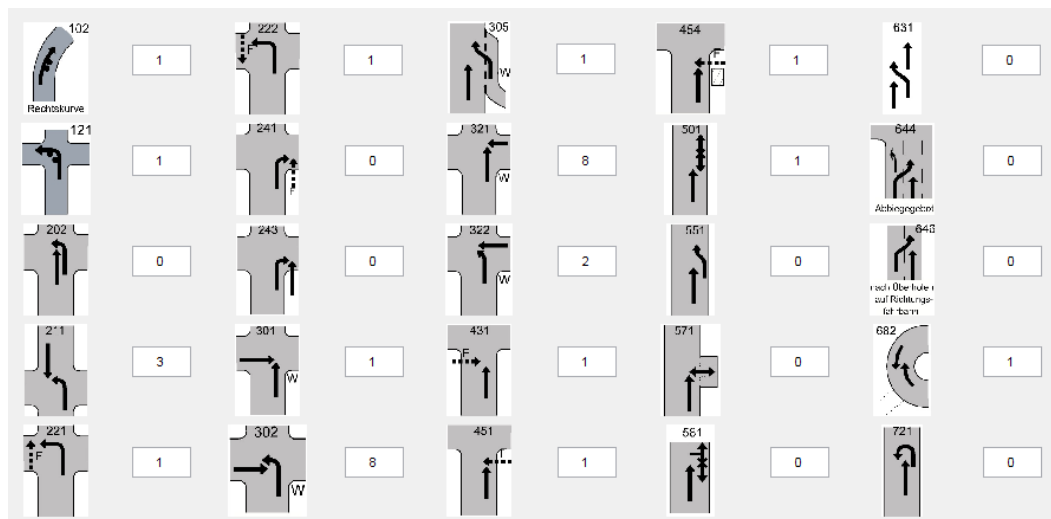


Abbildung 4.15: Gewichtungsschlüssel zur Superposition der situationsspezifischen Heatmaps, zusammengesetzt aus maximal $N=2173$ Einzelheatmaps.

Die o.g. Schritte bedingen eine Reduktion der $N_{ges} = 2173$ insgesamt erhobenen Heatmaps auf ein verwendetes Subset von $N_{gew.,Front} = 1570$, das in die Gesamtheatmap für die Frontsicht einfließt.

Das Ergebnis der Superpositionierung wiederum ist eine zunächst sehr granulare Heatmap, die mit einer Auflösung von $(1,25^\circ \times 1,25^\circ = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{sr})$ einer effektiven und effizienten Nutzung zur Bewertung der Sichtbedingungen mittels Schattenwurfverfahren unhandlich ist. Wie bereits oben angedeutet, wird daher eine Zusammenführung in größere Felder angestrebt, deren Gewichtung aus der Summation der Einzelgewichte der enthaltenen Einzelsegmente resultiert. Eine erste Zusammenfassung die sich (beispielsweise) an den Segment-Winkelgrenzen der „Daimler-Scholly-Methode“ als etablierte Methode orientiert, angewendet auf die in Abbildung 4.17 gezeigte Heatmap zeigt Abbildung 4.18.

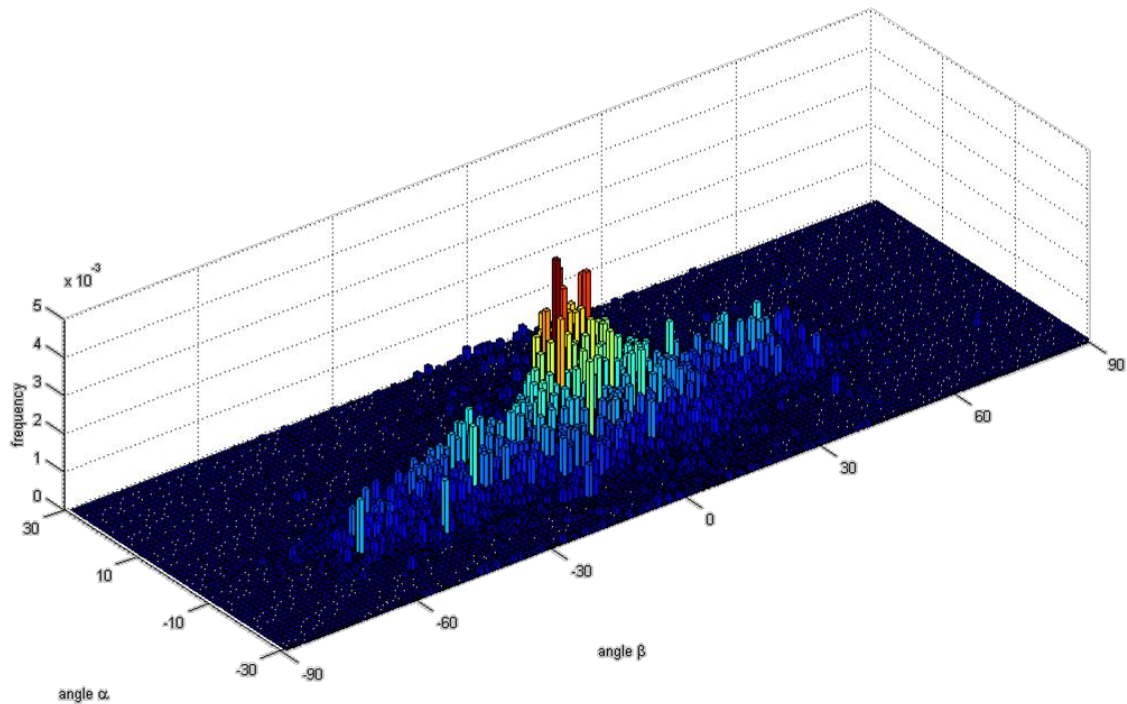


Abbildung 4.16: Superponierte Heatmap aller brauchbaren Einzelheatmaps ($N = 1570$) aufgetragen in Kugelkoordinaten (Breiten- (α) und Meridianwinkel (β)).

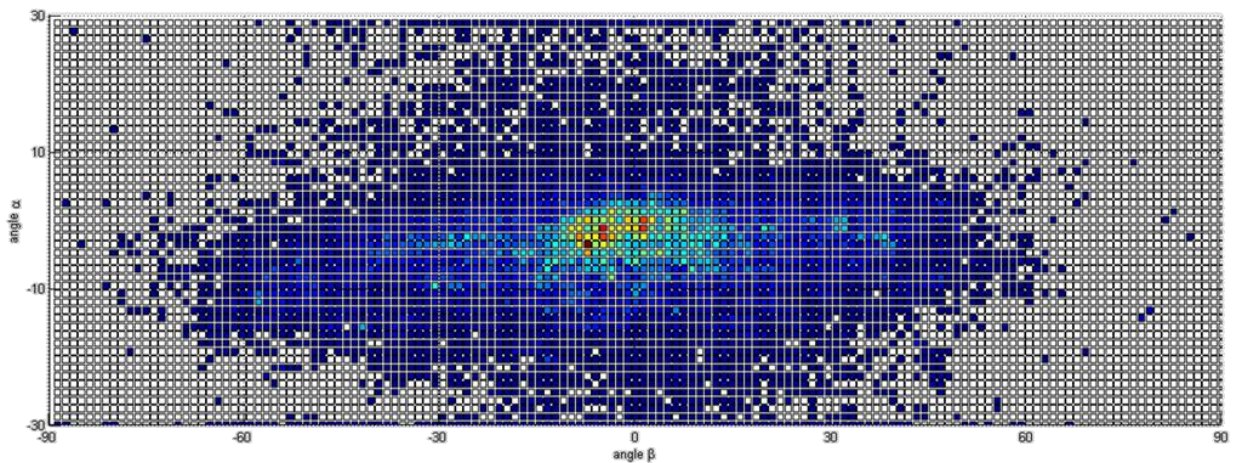


Abbildung 4.17: Superponierte Heatmap.

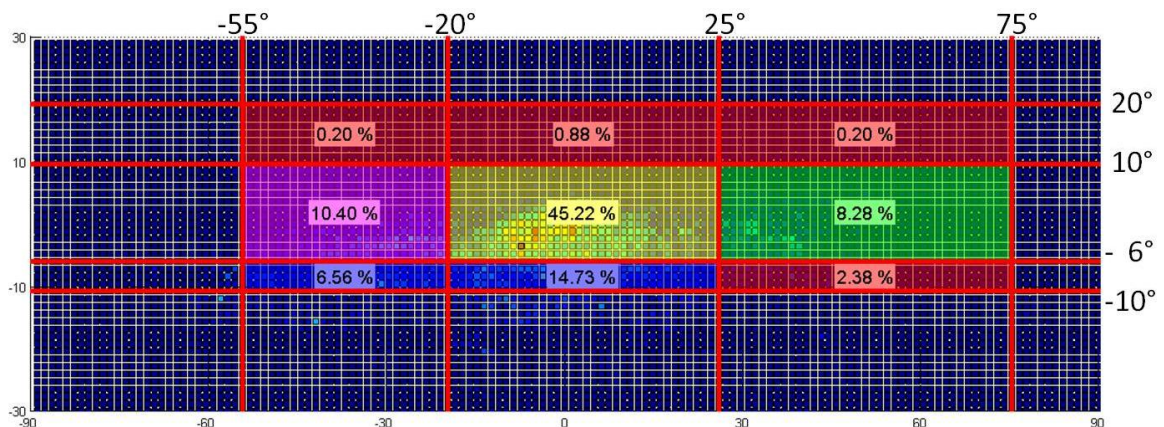


Abbildung 4.18: Einteilung der Frontsicht in 9 Felder. Gewichtung resultierend aus der superponierten, granulären Blickdichteverteilung aufsummiert innerhalb der Winkelgrenzen (große Beschriftung) der Daimler-Scholly-Methode.

Grundsätzlich kommt der Wahl der Winkelgrenzen dieser Felder eine wesentliche Bedeutung zu. So stellt sich die Frage, ob die Grobeinteilung nach Daimler-Scholly als zielführend angesehen werden kann oder ob es nicht einer anderen Subsummierung innerhalb anderer Winkelgrenzen bedarf.

Vor dem Hintergrund der späteren Anwendung der Methode in der Fahrzeugentwicklung erscheint die neungliedrige Einteilung zudem als zu grob um z.B. Fragestellungen hinsichtlich Komponentenpositionierung im Sichtfeld in ausreichender Tiefe zu beantworten. Folgende Betrachtung zeigt daher am Beispiel eines Kompakt-Van wie eine Alternative Einteilung aussehen könnte und wie die Motivation dafür gelagert ist (Abbildung 4.18).

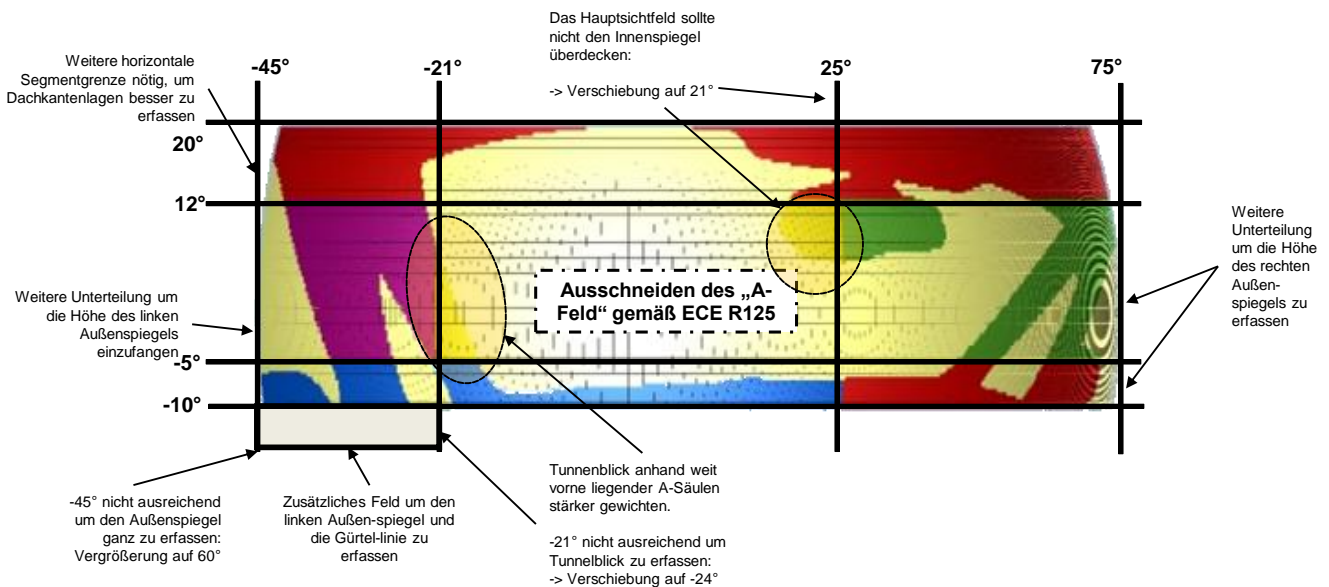


Abbildung 4.19: Übersicht der Modifikation der 9-Feldereinteilung nach Daimler-Scholly. Motivation abgeleitet aus identifizierten Defiziten bei der Anwendung auf ein reales Fahrzeug in Verbindung mit den Ergebnissen einer internen, subjektiven Clinic zur Fahrersicht.

Die Projektion der Fahrzeugstruktur auf die Scholly-Felder zeigt, dass der Innenspiegel zu einer großen Überdeckung im Hauptsichtfeldbereich führt. Die Position des Spiegels wurde jedoch in einer Opel-internen Versuchsreihe zur Beurteilung der Fahrersicht in dem gezeigten Fahrzeug von keinem der 40 befragten Probanden bemängelt. Daher ist davon auszugehen, dass die Sichtfeldgrenze von 25° nach links verschoben werden sollte. Der linke Grenzwinkel erscheint mit -21° für die Erfassung potentiellen Tunnelblicks nicht ausreichend, da die A-Säulen des hier gezeigten Fahrzeuges innerhalb des gesamten Fahrzeugmarktes als sehr weit vorn liegend bezeichnet werden können. Zudem kommt es typischerweise immer wieder zu Kundenbeanstandungen, die die Einschränkung des Sichtfeldes in Linkskurven durch die A-Säule betreffen. Daher wird der Grenzwinkel auf -24° aufgeweitet. Im oberen Bereich wird zur besseren Erfassung des sog. Forward Up Vision eine weitere horizontale Segmentgrenze eingezogen und die untere Grenze von 12 auf 10° verringert. Zur feineren Erfassung der Außenspiegelhöhe und Größe wird zudem eine weitere horizontale Grenzlinie im unteren Bereich eingeführt, sowie ein weiteres Segment nach unten erweitert.

Zur Steigerung der Sensibilität der Methode sollen weiterhin Bereiche ausgespart werden, die keinen Unterscheidungscharakter besitzen. Dies sind grundsätzlich Bereiche, die aufgrund von gesetzlichen Anforderungen nicht oder nur begrenzt verdeckt sein dürfen. Die ECE R125 spezifiziert das sog. *A-Feld* im Bereich der Frontscheibe, das vollständig freizuhalten ist. Da sich dessen Ausprägung jedoch anhand zweier Ursprungspunkte definiert (V1-/V2-Punkt je ober-/unterhalb des Referenzaugpunktes), lässt sich dieses Kriterium nicht trivial auf eine Schattenwurfmethode übertragen, die mit nur *einem* Projektionsursprung arbeitet. Daher wird ein konservativer Ansatz gewählt und anhand einer Verschiebung von V1- und V2-Punkt in den Referenzaugpunkt der Projektion ein vereinfachtes A-Feld konstruiert, das in den verwendeten Raumwinkelkoordinaten darstellbar ist. Das ausgeschnittene, „vereinfachte A-Feld“ ist somit kleiner als das gesetzliche, womit sichergestellt ist, dass durch Reduktion des Beurteilungswinkelbereichs um das vereinfachte A-Feld keine Fahrzeugstruktur und Sichtbeeinflussung vernachlässigt wird.

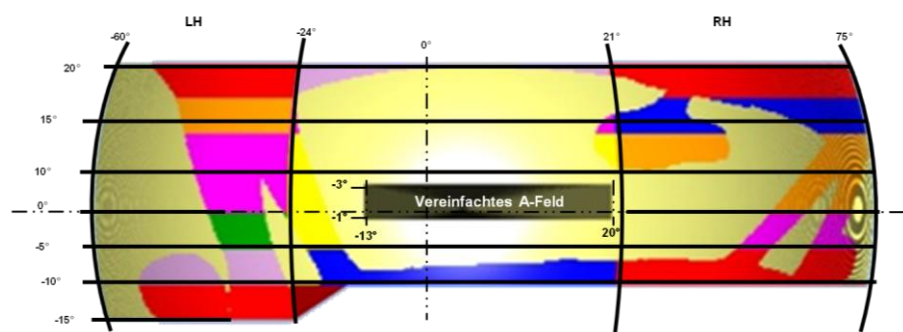


Abbildung 4.20: resultierende Feldeinteilung (Grenzwinkel)

Abbildung 4.20 zeigt die resultierende Sichtfeldunterteilung gemäß den beschriebenen Grenzen. Die Subsummierung der superponierten Blickdichteverteilung der Versuche in den gezeigten Grenzen ergeben die in Abbildung 4.21 dargestellten Gewichtungen der 15 Einzelfelder.

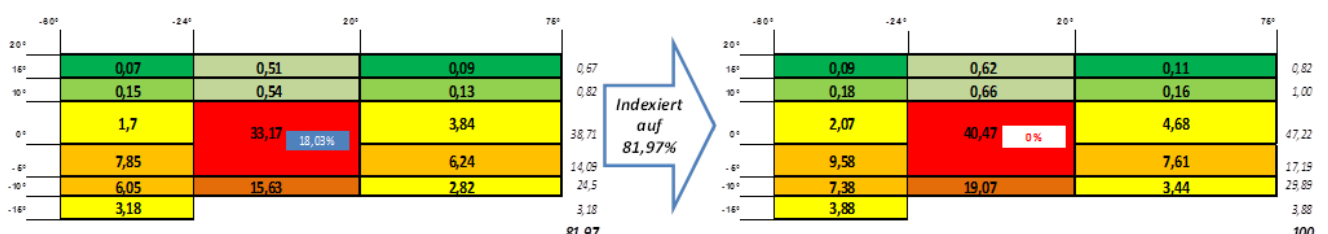


Abbildung 4.21: Gewichtung der 15 Einzelfelder nach Auswertung der Blickdichteverteilung für die jeweiligen Feldgrenzen. In den Bereich des vereinf. A-Feldes fallen 18,03% der superponierten Blickverteilung. Die Summe aller gültigen *Bewertungsfelder* beträgt 81,97%. Die Indexierung darauf erzeugt die finale Gewichtung der Felder (unten).

4.4. Ableitung einer Frontsicht-Beurteilungsmethode

Im Folgenden wird die Überführung des 15-Felder-Sichtbeurteilungskriteriums in eine praktisch anwendbare Mess- und Bewertungsmethode beschrieben, die im Anschluss exemplarisch angewendet wird, um ihre Aussagequalität zu plausibilisieren. Hierzu wird die entwickelte Methode auf acht Fahrzeuge verschiedener Segmente mit unterschiedlichen A-Säulen-Konzepten angewendet, um die so ermittelten Bewertungen dann mit denen einer subjektiven, dynamischen Sichtbeurteilungsreihe der identischen Fahrzeuge zu vergleichen (320 Fahrten, 42 Probanden). Dies entspricht keiner Validierung im eigentlichen Sinne, da sich die Gewichtung und Superpositionierung an objektiven Unfallanalysen orientiert. Dennoch soll der Vergleich mit der *subjektiven* Beurteilung vollzogen werden, um möglichen Diskrepanzen zwischen objektiven und subjektiven Bewertungen vorzubeugen.

4.4.1. Praktische Umsetzung der 15-Feld-Methode & exemplarische Anwendung

Die praktische Umsetzung der Schattenwurfmethode ist datenbasiert um eine spätere Anwendung in der Fahrzeug(voraus)entwicklung ohne zusätzlichen Hardwareaufwand zu ermöglichen. Sie baut auf der Visualisierungssoftware „Siemens TeamCenter“ auf, mit der auf einfache Weise CAD-Datenstände dargestellt und analysiert werden können.

Schattenwurfverfahren werden in der Realität als Projektionsverfahren umgesetzt. So wird die lichtundurchlässige Fahrzeugstruktur anhand ihrer Schatten auf eine Referenzfläche (z.B. eine Zylindermantelfläche) projiziert. In der zur Verfügung stehenden CAD-Software-Umgebung des Industriepartners kann eine Übertragung dieses Prinzips auf eine CAD-Daten-gestützte Auswertung nicht effizient realisiert werden. Als wesentlich effizientere Methode hat sich eine Auswertung anhand einer Kollisions- bzw. Durchdringungsanalyse erwiesen. Hierbei werden die Fahrzeuge im Visualisierungsprogramm zunächst aus Ihren Einzelteilen so konfiguriert, dass sie aus der Perspektive des Fahrers dem Realfahrzeug identische Sichtbedingungen aufweisen. Diese Modelle bestehen somit fast ausschließlich aus Komponenten, die im Auswertebereich die Sicht des Fahrers begrenzen. In das Modell wird dann an den Augpunkt (z.B. $z = 635\text{mm}$ über Definitions-H-Punkt) der sog. Sichtfeld-Igel geladen, der das eigentliche Analyse-Tool darstellt (Abbildung 4.22). Er besteht aus einer Vielzahl von Pyramiden, deren Spitzen im Fahrer-Augpunkt zusammentreffen und von dort aus mit definierten Winkeln in den Raum ausgerichtet sind ($0,33^\circ$ horizontal/vertikal). Auf diese Art entsteht ein abstandsunabhängiges Raumwinkelmessgitter. Zur Auswertung der Beschattung der einzelnen Winkelbereiche werden nun einzelne Pyramiden so gruppiert, dass diese gerade die entsprechenden Winkelbereiche der Segmente überdecken (vgl. Farbgebung in Abbildung 4.22). Ein Teil-Segment mit einer Ausdehnung von bspw. 24° auf 8° (hor./vert.) besteht somit aus 1728 Einzelpyramiden (3×3 Pyramiden pro $1^\circ \times 1^\circ$). Die einzelnen Pyramidengruppen werden nun nacheinander mit der Fahrzeugstruktur überlagert und die Anzahl jener Pyramiden ermittelt, die keine Überschneidung mit der Fahrzeugstruktur verursachen (Abbildung 4.22).

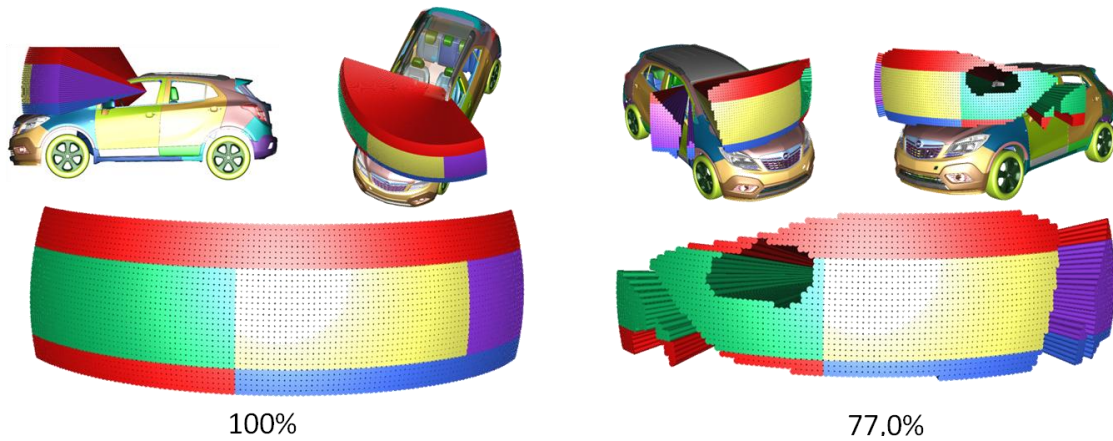


Abbildung 4.22: Sichtbewertungstool "Igel" im CAD-Modell (Konfiguration für Feldeinteilung nach RAMSIS-kognitiv). Links: Vollständiger "Igel", entspr. 100%iges Durchsichtsergebnis; Rechts: Analyse des reduzierten Igels aus durchdringungsfreien Teilpyramiden. Ergebnis der gewichteten Durchsicht (77%)

Das Ergebnis der eigentlichen Sichtbewertung entsteht dann aus der gewichteten Summation der prozentualen Durchsicht pro Segment. Als eine besonders elegante Lösung im Rahmen der softwaretechnischen Umsetzung hat sich die Zuweisung der Segmentgewichtung in Form entsprechend unterschiedlicher Materialdichten erwiesen. Das Gesamtergebnis ergibt sich dann durch eine einfache Masseanalyse („Wiegen“) des resultierenden „Igels“ (Abbildung 4.22, unten rechts) in der CAD-Software.

Auf analoge Art werden die entsprechenden Sichtbewertungs-Ergebnisse für die 15-Feld-Methode wie oben beschrieben zur folgenden exemplarischen Anwendung und Plausibilisierung erhoben. Abbildung 4.23 zeigt stellvertretend die Schattenwurf Ergebnisse in graphischer Form für das schlechteste und beste Fahrzeug der 15-Feld-Sichtanalyse. Die zahlenmäßigen Ergebnisse aller acht Fahrzeuge sind Abbildung 4.24 zu entnehmen, während die einzelnen Schattenwurf Ergebnisse in graphischer Form dem Anhang G zu entnehmen sind.

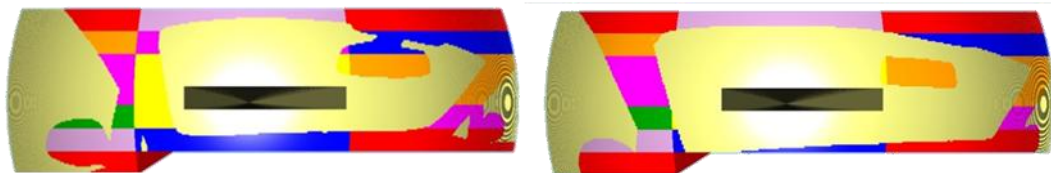


Abbildung 4.23: Schattenwurfbilder der Sichtbewertung mit der 15-Feld-Methode für das schlechteste Fahrzeug „B“ (links, 65,82%) sowie das beste Fahrzeug „O“ (rechts, 86,61%).

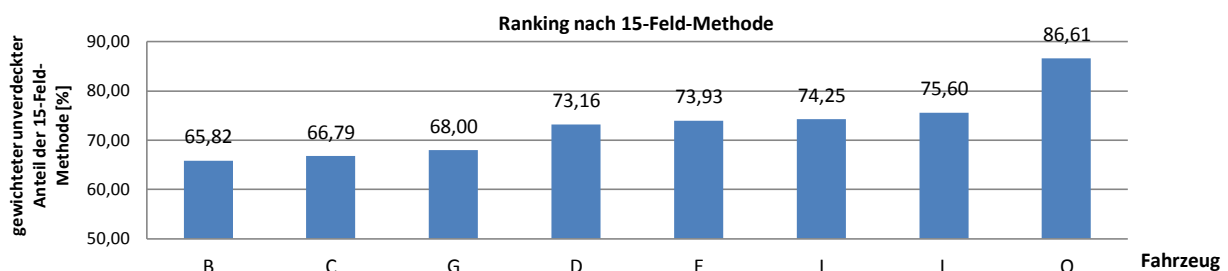


Abbildung 4.24: Ergebnisse der Sichtbewertung der acht Vergleichsfahrzeuge der 15-Feld-Methode mittels Sichtbewertungstool "Igel".

Subjektive Sichtbeurteilung als Vergleichsbasis

Zur Erhebung subjektiver Vergleichsdaten der Sichtbeurteilung werden in einer Studie acht Fahrzeuge unterschiedlicher Klassen und insbesondere unterschiedlicher Karosserie- und A-Säulenkonzepte (Tabelle 4.4) von 42 Probanden auf einer definierten Strecke im Stadtgebiet von Rüsselsheim (Anhang H) gefahren und situationsspezifische Sichtbewertungen ermittelt.

Tabelle 4.4: Übersicht des Fahrzeug-Testkollektivs zur Plausibilisierung.

B	Kompakt Fünftürer ²	C	Kompakt Coupé Dreitürer ²	D	Kompakt-Van ³	E	Mittelklasse-Limousine ¹
G	Kompakt-SUV ¹	I	Kompakt -Fünftürer ¹	L	Mini-Van ⁴	O	Kompakt-SUV ¹
1:	Einfache A-Säule, Spiegel an der Säulenwurzel	2:	Doppelte A-Säule, kleines Dreiecksfenster in der Karosserie, Spiegel an der Säulenwurzel	3:	Doppelte A-Säule, großes Dreiecksfenster in der Karosserie, Spiegel auf der Brüstung	4:	Einfache A-Säule, zus.Fenstersteg in der Tür, Spiegel auf der Brüstung

Die hier verwendeten Daten stellen ein Teilergebnis einer, vom Autor durchgeführten GME-internen Validierungs-Studie dar, die der Ermittlung einer umfassenden Datengrundlage subjektiver Sichtbeurteilung verschiedener Fahrzeuge gilt. Für die hier genannte Plausibilisierung wird einzig auf die zu Fahrtende erhobene *Gesamtbewertung der Sicht nach vorne* zurückgegriffen. Alle 42 Probanden bewerten alle acht Fahrzeuge basierend auf einer je halbstündigen, moderierten Beurteilungsfahrt inkl. ausgewählter Verkehrssituationen. Zur Beurteilung der Frontsicht werden die Probanden in verschiedenen Abbiege- und Kurvensituationen mit dynamischen und statischen Sichtzielen (Querverkehr/ Fahrbahnbegrenzungen / Spurmarkierungen) und Manövern (knappes Heranfahren an eine Mauer / Parkieren in einer Parkbucht) konfrontiert, während denen die Probanden direkt nach ihren Beurteilungen hinsichtlich der Frontsichtverhältnisse gefragt werden. Die abschließende *Gesamtbewertung der Sicht nach vorne* erfolgt in neutraler Parkposition am jeweiligen Testfahrnde unter Einbeziehung der Eindrücke der erlebten Testfahrt. Alle Beurteilungen werden anhand der GM-intern etablierten, für subjektive Fahrzeugbeurteilungen geschaffenen, zehnstufigen „GMUTS Rating Scale“ (Tabelle 4.5) vorgenommen, mit der jeder Proband als Mitarbeiter ausreichend vertraut ist.

Tabelle 4.5: GM-interne Bewertungsskala "GMUTS" für subjektive Fahrzeugbeurteilung.

Punktwert	Interpretation	Weitere Umschreibung
10	Ausgezeichnet	Dem Wettbewerb eine Evolutionsstufe voraus
9	Sehr gut	Spitzengruppe Wettbewerb
8	Gut	Oberer Wettbewerbsdurchschnitt
7	Befriedigend	Gewöhnungsphase nötig - unterer Wettbewerbsdurchschnitt
6	Noch akzeptabel	Für Kunden als ständig störend bzw. ständiger Kritikpunkt empfunden
Grenzfall		
5	Unbefriedigend	Geht nicht, nicht akzeptabel
4	Mangelhaft	kein Kauf; wird als Fehler erkannt
3	Ungenügend	Ganz schlecht, völlig unzufrieden
2	Schlecht	
1	Sehr schlecht	

Die verwendeten Ergebnisse der *Gesamtbewertung der Sicht nach vorne* sind in Abbildung 4.25 in Form der Mittelwerte der Beurteilung dargestellt. Sie streuen zwischen 6,57 und 7,55. Diese Spanne erscheint zunächst relativ gering, relativiert sich aber in Anbetracht der Interpretation der Punktwerte nach GMUTS sowie der Tatsache, dass es sich bei den acht Fahrzeugen allesamt um Volumen-Fahrzeuge und keine Exoten handelt.

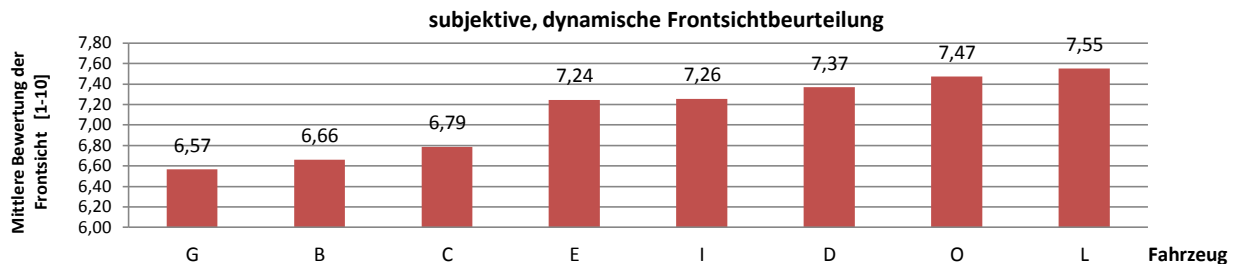


Abbildung 4.25: Beurteilungsergebnisse der acht Vergleichsfahrzeuge in der subjektiven, dynamischen Frontsichtbeurteilung: „Wie beurteilen Sie abschließend die Frontsichtbedingungen in diesem Fahrzeug insgesamt?“

4.4.2. Gegenüberstellung subjektiver & objektiver Bewertung

Wie Abbildung 4.26 (S.78) zeigt, streuen die Bewertungsergebnisse der 15-Felder-Methode für das Testkollektiv zwischen Werten von 65,82 und 86,61% gewichteter Durchsicht. Die subjektiven Beurteilungsergebnisse der dynamischen Fahrversuchsreihe zeigen eine Bandbreite von 6,57 bis 7,55. Es fällt auf, dass das Ranking der objektiven und der subjektiven Messmethode leicht unterschiedlich ausfällt und insbesondere die objektive Sichtbeurteilung des Fahrzeugs „O“ relativ stark von der Ausgleichsgeraden (Abbildung 4.27, links, (S.79)) entfernt liegt. Offenbar ist das objektive Bewertungsergebnis im Vergleich mit den anderen Fahrzeugen ggü. dem subjektiven Beurteilungsergebnis „zu gut“. Ähnliches gilt offenbar auch für Fahrzeug „G“, das ebenfalls unterhalb der Regressionsgeraden liegt. Bei beiden Fahrzeugen handelt es sich um sog. Sports Utility Vehicles (SUV), deren typischerweise erhöhte Bodenfreiheit und Karosserieproportionen sich auf die Lage des Fahrer-Augpunktes und die Sichtbedingungen nach vorn-unten auswirken und die Sicht auf die unmittelbar vor dem Fahrzeug liegenden Bereiche stärker eingeschränkt sein kann als in einem herkömmlichen PKW.

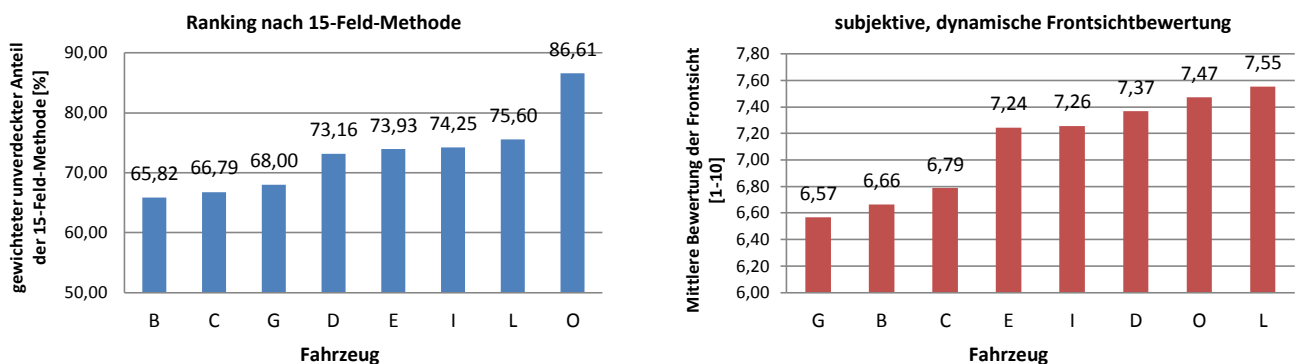


Abbildung 4.26: Ergebnisse der 15-Feld-Sichtbewertungsmethode des Testkollektivs (links); Subjektiv-Bewertungen der gleichen Fahrzeuge in der dynamischen Beurteilung (rechts).

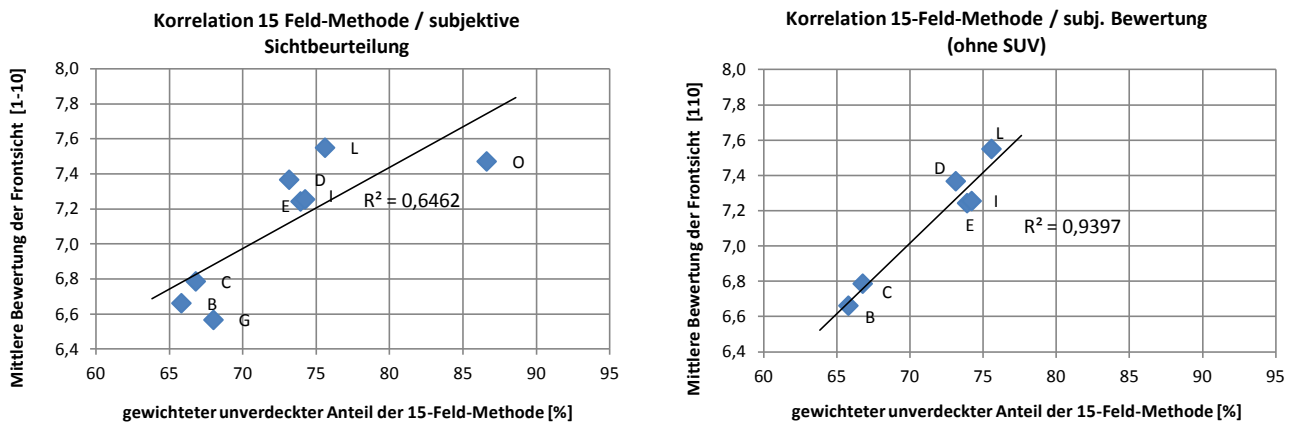


Abbildung 4.27: Links: Korrelationsanalyse der subjektiven Beurteilung mit den objektiven Ergebnissen der 15-Feld-Methode ($R^2 = 0,6462$; $R = 0,8039$); Rechts: identische Korrelationsanalyse ohne SUVs mit erhöhter Augpunktlage ($R^2 = 0,9397$, $R = 0,9694$).

Da die 15-Feld-Methode jedoch keine Anpassung der absoluten Augpunkt-Höhen vorsieht, ist sie nicht sensibel für diesen Einfluss. Würden zwei Fahrzeuge verglichen, deren Fahrzeugkarosserien und Position des Fahreraugpunktes im Fahrzeug identisch sind, die sich aber ausschließlich über die Standhöhe unterscheiden, so ist davon auszugehen, dass sich die subjektive Bewertung bei dem höher stehenden Fahrzeug schlechter darstellen wird, da sich die Sicht auf Bereiche unmittelbar vor dem Fahrzeug schlechter darstellt. Da die 15-Feld-Methode jedoch stets ihren Projektionsmittelpunkt in den Referenzpunkt legt, generiert sie demnach für beide Fahrzeuge identische Ergebnisse.

Der Korrelationskoeffizient spricht mit $R = 0,8039$ zwar schon für eine starke Korrelation werden die beiden Fahrzeuge mit genanntem Sondereffekt aus der Betrachtung ausgeschlossen, wird die Korrelation für die übrigen Vergleichsfahrzeuge einem Pearson'schen Korrelationskoeffizient von $R = 0,9694$ ($R^2 = 0,9397$) nachvollziehbar noch stärker.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass die 15-Feld-Methode in Ihrer Anwendung als prädizierendes Beurteilungswerkzeug auch hinsichtlich der *subjektiven* Sichtbeurteilung von Fahrzeugen plausible Vorhersagen über die Sichtverhältnisse zulässt.

4.5. Abgrenzung von ähnlichen Methoden

Die Schattenwurfmethode selbst, wie sie grundsätzlich auch hier zur Anwendung kommt, stellt an sich noch keine Neuerung dar. Allerdings ist die Aussagequalität dieser Methode wie bereits erläutert abhängig von der Einteilung und Gewichtung der zu beschattenden Sichtbereiche. Daher soll durch den folgenden Vergleich der neuen 15-Feld-Methode mit anderen, bereits bekannten Methoden deren Validitätsgewinn evaluiert werden.

Daimler-Scholly-Verfahren / RAMSIS-kognitiv

Wie oben beschrieben, stellt die Software „RAMSIS kognitiv“ u.a. ein Tool zur Verfügung, das eine Sichtbewertung mittels Schattenwurfmethode gestattet. Um deren Aussagequalität hinsichtlich einer Prädiktion der Sichtbewertung des Fahrers zu evaluieren, wird die Schattenwurfmethode nach

RAMSIS *kognitiv* auf dieselben Fahrzeuge angewendet, welche in der subjektiven, dynamischen Beurteilungsreihe verwendet wurden. Dies geschieht methodisch auf dieselbe Weise mithilfe des beschriebenen „Hedgehog“-Tools, ausgewertet wird jedoch innerhalb der *RAMSIS*-Feldgrenzen und mit den entsprechenden Gewichtungen (Abbildung 4.28)

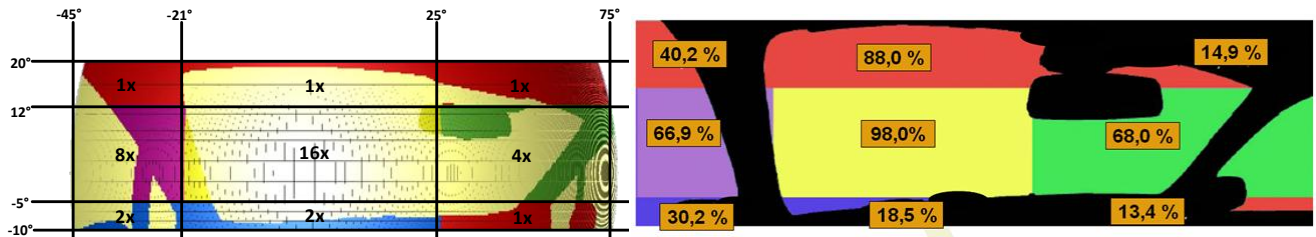


Abbildung 4.28: Links: Schattenwurfanalyse eines realen Fahrzeugs (Opel Meriva B) auf die Beurteilungsfelder von *RAMSIS* *kognitiv* (Draufsicht, Schattenwurf nicht abgewickelt) unter Verwendung des „Igel / Hedgehog“-Tools. Relative Feldgewichtung und -winkelgrenzen gemäß *RAMSIS*. Rechts: Typisches Ergebnis der *RAMSISKognitiv*-Original-Methode für einen Kleinwagen, Prozentwerte entsprechen dem unverdeckten Anteil der beschatteten Felder.

In Abbildung 4.29 sind die Ergebnisse der Schattenwurfanalyse nach *RAMSISKognitiv* aufgetragen. Im Vergleich zu 15-Feld-Methode lässt sich bereits ein anderes Ranking erkennen.

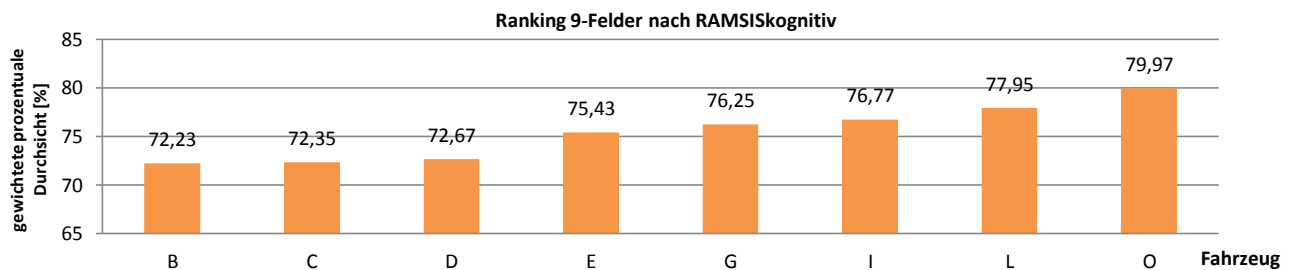


Abbildung 4.29: Ranking der untersuchten Fahrzeuge gemäß 9-Felder *RAMSIS* *kognitiv*.

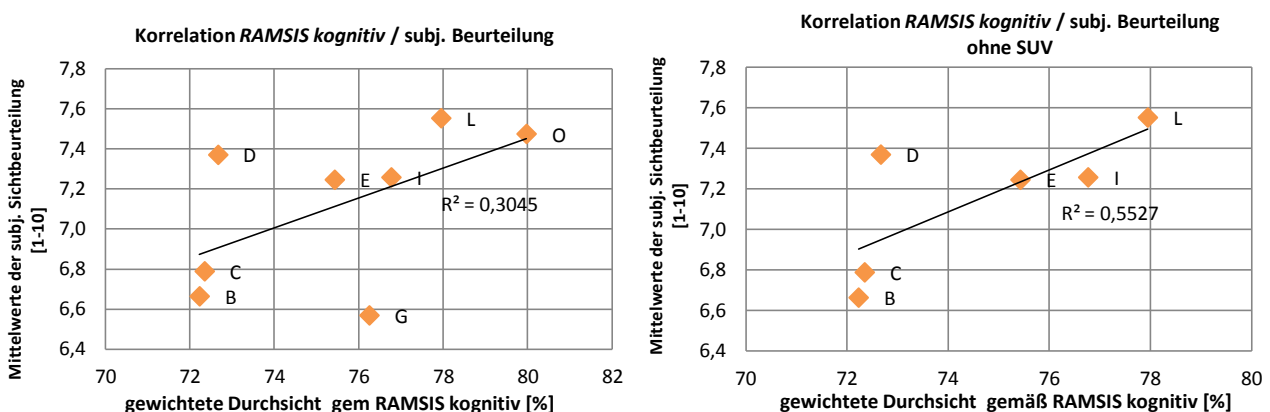


Abbildung 4.30: Links: Korrelationsanalyse der 9-Felder *RAMSIS*-kognitiv-Methode mit den Ergebnissen aus der subjektiven, dynamischen Sichtbeurteilungsreihe der gleichen Fahrzeuge ($R = 0,5518$). Rechts: Korrelationsanalyse unter Ausschluss der SUV ($R = 0,7434$).

Die Korrelationsanalyse der 9-Feld-Methode zeigt für das gesamte Fahrzeugkollektiv jedoch mit $R=0,5518$ eine schwächere Korrelation im Vergleich mit der 15-Feld-Methode ($R=0,6462$). Die Reduktion des Testkollektivs um die SUV (G,O) wie in Abbildung 4.30 (rechts) dargestellt verbessert

den Korrelationskoeffizient auf $R=0,7434$, was jedoch hinter den beiden Fällen der 15-Feld-Methode zurückbleibt ($R=0,8039$ / $R=0,969$). Die Annahme zur Sensitivität der 9-Feld-Methode für den Sichteinfluss der erhöhten Augpunktposition ist hier analog zur 15 Feld-Methode.

Auch wenn aufgrund des begrenzten Stichprobenumfangs dieses Ergebnis nicht als Beweis angesehen werden darf, so ist zumindest der Trend dazu erkennbar, dass die Aussagequalität der 15-Feld-Methode die der Methode *RAMSISkognitiv* hinsichtlich subjektiver Sichtbeurteilung übertrifft.

Eine ähnliche Methode, welche jedoch nur mit acht Feldern auskommt, wird von SUNDIN et al. (2008) beschrieben. Leider entzieht sich diese Methode einem Vergleich, da sich anhand der Veröffentlichungslage hierzu keine Winkel- und Gewichtungsangaben recherchieren lassen.

Ungewichteter Schattenwurf

Neben dem Vergleich mit einer alternativen Einteilung und Gewichtung (15 vs. 9 Felder) zeigt der Vergleich mit einer gänzlich homogen gewichteten 15-Felder-Einteilung desselben beschatteten Gesamtgebietes wie bei der 15-Felder-Methode (entspricht dem sichtbaren, prozentualen Anteil des bestrahlten Gesamtfeldes) ein überraschendes Ergebnis. Zunächst fällt auf, dass sich die prozentualen Durchsichtswerte in einen niedrigeren Bereich verschieben (Abbildung 4.31.).

Dies ist damit zu erklären, dass jene Felder, die bei der 9- und der 15-Felder-Methode hoch gewichtet sind aber auch hauptsächlich unverdeckt sind, dies nun aufgrund der homogenen Gewichtung aller Felder weniger stark ins Gesamtergebnis einfließt. Der Korrelationskoeffizient zwischen subjektiver Beurteilung und den prozentualen Durchsichten der Fahrzeuge bei homogen gewichteten Teilflächen ist mit $R = 0,8818$ ($R^2 = 0,7775$, Abbildung 4.32, S.82) unerwartet gut und zudem zunächst höher als bei der 15-Feld-Methode.

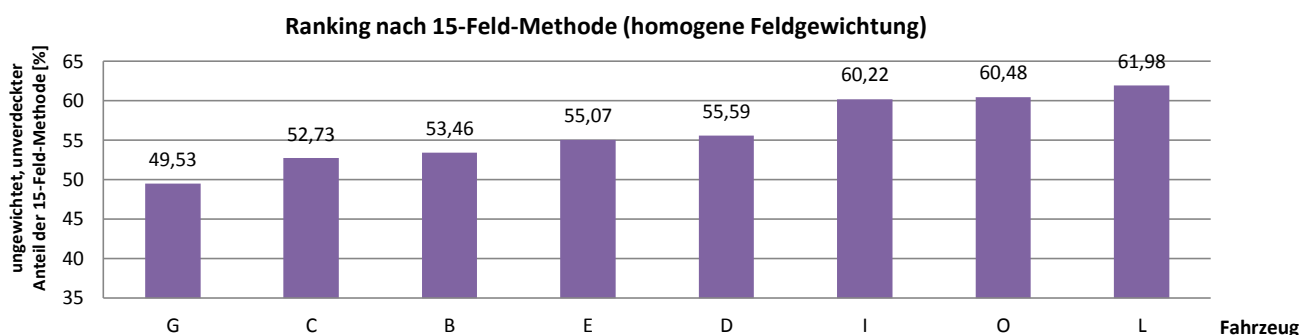


Abbildung 4.31: Ranking gem. 15-Feld-Methode mit homogen gewichteten Feldern.

Die Reduktion des Testkollektivs um die SUVs (Abbildung 4.32, rechts) bewirkt hier jedoch eine Verringerung des Korrelationskoeffizienten auf $R=0,7885$, der damit den Korrelationskoeffizienten für die gewichtete 15-Feld-Methode ($R=0,9694$) wiederum unterschreitet.

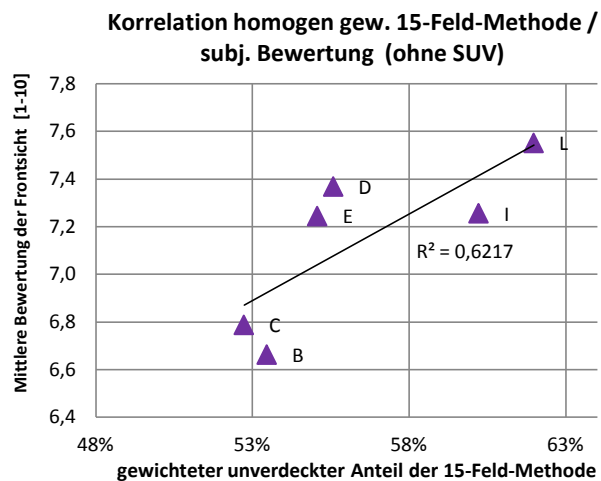
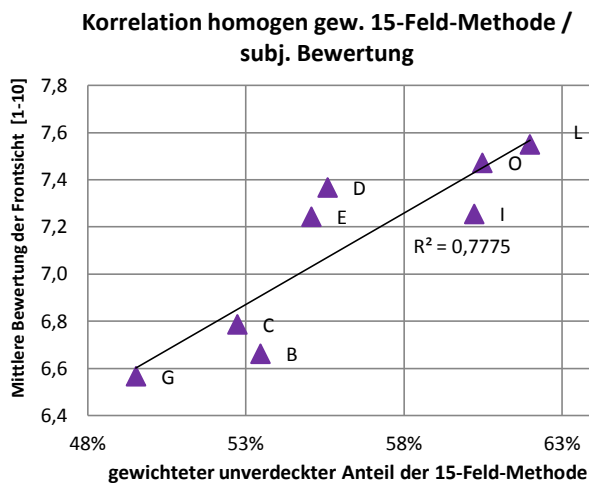


Abbildung 4.32: Korrelationsanalyse des ungewichteten Beschattungsergebnisses der 15 Felder ggü. den Ergebnissen der subjektiven Beurteilung in der dynamischen Sichtbeurteilungsreihe (Links: alle Fahrzeuge; rechts: ohne SUV)

Interpretation des Methoden-Vergleichs

Zwar stellen die hier gefundenen Pearson'schen Korrelationskoeffizienten sehr gute Werte dar, aufgrund des begrenzten Testkollektivs mit acht bzw. sechs Fahrzeugen aus verschiedenen Klassen darf der Vergleich (Abbildung 4.33 zeigt die Ergebnisse im Überblick) rein anhand des Korrelationskoeffizienten jedoch nicht überbewertet werden. Das gute Ergebnis der ungewichteten Auswertung darf insbesondere nicht dahingehend gedeutet werden, dass es als vereinfachtes Schattenwurfverfahren in der Fahrzeugentwicklung eingesetzt werden könnte. Theoretisch lässt die Gleichgewichtung der Felder die Konzentration der gesamten Verdeckung in einem zusammenhängenden Bereich bei gleichzeitiger Konstanzhaltung des Durchsichtsergebnisses zu. Vor dem Hintergrund der Anwendung einer solchen Methode in der Fahrzeugentwicklung, in der diese während andauernder Balancierung unterschiedlichster Anforderungen eine sichtergonomisch gute Fahrzeugauslegung zumindest unterstützen soll, bedeutet dies, dass es unsensibel für Kompensationen von Verdeckungsbereichen wäre. Beispielsweise könnte eine stark verbreiterte A-Säule durch die Anhebung der Scheibenoberkante z.B. in Form einer Panorama-Scheibe kompensiert werden, ohne dass sich das Gesamtergebnis des Schattenwurfs ändert. In der Realität stellte dies aber tendenziell eine eklatante Veränderung der Sichtverhältnisse bei Kurvenfahrten dar, bei der die gewonnene Sicht nach oben nicht zum Tragen kommt. Daher wird vor einer Nutzung einer ungewichteten Schattenwurfmethode dringend abgeraten. Die starke Korrelation zwischen subjektiver Beurteilung und *homogen* gewichteter Beschattung kann indes auch daher kommen, dass die getesteten Fahrzeuge die beschriebenen, nachteiligen Kompensationen aufgrund anderer Absicherungsmaßnahmen im Entwicklungsprozess nicht aufweisen und der beschriebene, potentielle „Missbrauch“ hier geometrisch nicht zu Tage tritt.

Abschließend sei noch einmal, wie eingangs erwähnt, daran erinnert, dass die subjektive Beurteilung nicht zwingend mit einer sicherheitsorientierten objektiven Bewertung korrelieren muss und dass die Motivation für den Vergleich lediglich eine Plausibilisierung der objektiven Methode war, um etwaigen

krassen Diskrepanzen zur subjektiven Sichtbeurteilung und dem damit entstehenden Dilemma zu begegnen. Der Vergleich zeigt aber die befürchteten Diskrepanzen nicht, sondern durchweg starke Korrelationen. Tendenziell kann die 15-Feld-Methode als objektive Methode somit zunächst als im Einklang mit der subjektiven Beurteilung angesehen werden, die zudem diesbezüglich sogar eine tendenziell bessere Prädiktion erlaubt als es die etablierte 9-Feld-Methode vermag.

Nr.	Fahrzeugklasse, A-Säulen-Konzept	15-Felder-Methode		9-Felder-Methode		subjektives Beurteilungsergebnis
		Schattenwurf 15-Felder-Methode	Sichtergebnis Gewichtung nach 15-Felder-Methode	Sichtergebnis Gewichtung homogen	Schattenwurf 9-Felder-Methode	
B	Kompakt 5-Türer, A/A2-Säule		65,82%	53,46%		6,66
C	Kompakt-Coupe 3-Türer, A/A2-Säule		66,79%	52,73%		6,79
G	Kompakt SUV, herkömmliche A-Säule		68,00%	49,53%		6,57
D	Kompakt MPV (Mini-Van), Doppelte A-Säulen		73,16%	55,59%		7,37
E	Mittelklasse Limousine, herkömmliche A-Säule		73,93%	55,07%		7,24
I	Kompakt 5-Türer, herkömmliche A-Säule		74,25%	60,22%		7,26
L	Sub-Kompakt MPV, einfache A-Säule & türfester Fenstersteg		75,60%	61,98%		7,55
O	Kompakt SUV, herkömmliche A-Säule		86,61%	60,48%		7,47

Abbildung 4.33: Übersicht der Bewertungsvergleiche zur Plausibilisierung ggü. subjektiver Sichtbeurteilung und der Abgrenzung der 15-Feld-Methode von anderen objektiven Methoden.

4.6. Zusammenfassende Betrachtung der Frontsichtbeurteilung

Die hier entwickelte Methode zur Frontsichtbeurteilung auf Grundlage einer Unfalldatenanalyse ist im vorliegenden Stadium hinsichtlich Ihrer Aussagevalidität bzgl. der Beurteilung fahrsicherheitswirksamer Sichtbedingungen noch nicht validiert. Dies müsste in weiteren Studien erfolgen um Sie als aussagekräftiges Bewertungs- und Prädiktionstool verwenden zu können. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Erbringung dieses Nachweises nicht angestrebt. Dennoch kann der Hinweis, dies mithilfe der sich stetig erweiternden Unfalldatenbasis der GIDAS zu tun gegeben werden. Insbesondere die auch hier bereits genutzte Möglichkeit durch ACASS die Unfalleinflussfaktoren zu analysieren und zu sehen, welche Unfälle mit einem visuellen Sichtdefizit aufgrund der Fahrzeugstruktur in Zusammenhang stehen oder gar verursacht wurden, ermöglicht gezielte Regressionsanalysen. Diese hätten zu prüfen, ob das Bewertungsergebnis der 15-Felder-Methode für ein Fahrzeugkollektiv mit deren relativer Verunfallungshäufigkeit aufgrund von visuellen Informationsdefiziten im Frontsichtbereich positiv korreliert ist.

Die situationsspezifische Untersuchung und getrennte Erhebung der Blickdichteverteilung kann neben dem hier angewendeten Ansatz auch für Teilaspekte von Untersuchungen der Sichtbeeinträchtigung herangezogen werden um die Aussage von PROTEAU (1992) über die Abhängigkeit des visuellen Informationsbedarfs von der (Fahr-)aufgabe noch direkter aufzugreifen. Spezielle Fragestellungen bzgl. der Sichtgestaltung in Teilbereichen wie etwa der Anbringung der Außenspiegel könnten damit ebenfalls adressiert werden. Hierzu wird es jedoch vermutlich entscheidend sein, die richtige, spezifische Subsummierung in den Bereichen vorzunehmen.

Ein großer Vorteil dieser Vorgehensweise wird jedoch in der Möglichkeit gesehen, aktualisierte Unfalldaten zyklisch in den Gewichtungsschlüssel (siehe Abbildung 4.15) für die Superposition zu integrieren und somit die Bewertungsgrundlage aktualisieren zu können. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass sich die relative Häufigkeit bestimmter Unfalltypen über die Jahre - evtl. sogar tatsächlich aufgrund sich wandelnder Fahrzeuggestaltung verändern kann (wie Untersuchungen von SIVAK et al. 2006 vermuten lassen). Das hier aufgenommene situationsspezifische Blickverhalten als Sollgröße sollte jedoch ohne eklatant grundlegende Veränderungen im Verkehrsraum keinem vergleichbaren Wandel unterliegen.

5. Bestimmung des Seitensichtbedarfs

Neben dem Frontsichtbereich, der vom Fahrer während der Fahrt am häufigsten benutzt wird, spielt die Seitensicht u.a. für Spurwechsel- und Abbiegemanöver eine entscheidende Rolle für sichere und effiziente Fahrzeugführung. Das vorliegende Kapitel hat daher die Bestimmung des Seitensichtbedarfs zum Ziel um die seitlichen Sichtbedingungen quantifizieren zu können und gemäß des in Kapitel 3.2 skizzierten Modells in die Gesamtsichtbewertung einfließen lassen zu können. Die Bestimmung des Seitensichtbedarfs stützt sich auf eine Versuchsreihe mit Probanden, in der in statischen und dynamischen Messreihen im öffentlichen Straßenverkehr Gestaltungs-Parameter der B-Säulen systematisch verglichen und bewertet werden um daraus eine quantitative Bewertungsgrundlage der Seitensicht im Bereich der B-Säule abzuleiten.

Unter dem Begriff „Seitensicht“ werden hierbei diejenigen Sichtbereiche zusammengefasst, die der Fahrer innerhalb von Verkehrssituationen „benutzt“, deren visueller Informationsgehalt sich im Wesentlichen neben dem Ego-Fahrzeug befindet. Weiterhin soll sich dieser Bereich für den Fahrer jeweils beidseitig zwischen den A-Säulen bis vor die C-/D-Säulen erstrecken. Sie schließt sich also bewusst unscharf an den Frontsichtbereich an, der die A-Säulen noch umfasst. Der Grund für diese Unschärfe liegt darin begründet, dass der Bereich des vorderen Fensters einen Überlappungsbereich der *Seiten-* und *Frontsicht* darstellt, der sich nicht sinnvoll per harter Grenzlinie abgrenzen lässt. Eine solche Grenze implizierte, die Front- bzw. Seitensicht würde an einer ganz bestimmten Stelle enden. Die theoretischen Betrachtungen bezüglich der Rolle des peripheren Blickfeldes zur Informationsaufnahme, welche bei der Entwicklung des Untersuchungskonzepts zur Unterteilung und Gewichtung der Frontsicht basierend auf dem tatsächlichen Blickverhalten angestellt werden, würden dem bereits widersprechen. Hier wird die Informationsaufnahme durch peripheres Sehen bewusst ausgeschaltet, weil die *Gewichtung* im Fokus stand. Dennoch ist der Fahrer weiterhin auch für die Frontsicht auf diesen Informationskanal angewiesen (wie detailliert im letzten Kapitel beschrieben). Demnach würden auch Informationen, die am äußeren Rand des peripheren Blickfeldes liegen und für sehr weit hinten liegende Augpunkte bereits in den Bereich der B-Säule fallen, für die Erfüllung der Fahraufgabe innerhalb von Fahrsituationen, die der Frontsicht zugeordnet sind, verwendet. Gleichzeitig ist der Bereich um die B-Säule aber zentral für die Sicht zur Seite oder dem typ. Schulterblick. Es wird deutlich, wie groß der Überlappungsbereich sein kann, insbesondere, wenn verschiedene Fahrerperzentile und deren Augpunktverteilung im Fahrzeug mit betrachtet werden.

Die B-Säule kann hinsichtlich Sichtbeeinträchtigung zur Seite als das dominante Bauteil bezeichnet werden. Das zeigt sich sowohl in der subjektiven Beurteilung der Seitensicht als auch in objektiven, datenbasierten Analysen:

- Die Dominanz hinsichtlich der *subjektiv wahrgenommenen* Sichtbeeinflussung wurde in einer online-Umfrage des Instituts für Arbeitswissenschaft zur subjektiven Beurteilung der Defizite der Fahrersicht im Rahmen einer studentischen Arbeit (LANGER 2009) im Jahre 2009 (N=469

Antworten) bestätigt. Zwei Drittel der Befragten nannten die B-Säule das primär störende Bauteil bspw. in Spurwechsel-Situationen nach links (Abbildung 5.1).

- Hinsichtlich der *fahrsicherheitswirksamen* Sichtbeeinträchtigung ist diese Dominanz in Studien ebenfalls ersichtlich: SIVAK et al. (2006) und SIVAK et al. (2007) können durch statistische Regressionsanalysen den B-Säulen-Positionswinkel als den einzigen Karosserie-Dimensionsparameter mit signifikantem Einfluss auf die relative Unfallhäufigkeit ausdeuten. Untersucht wurde hierbei der Quotient $\sum \text{Quer-} / \sum \text{Längsunfällen}$ für Fahrzeuge, die sich als 3 und 5-Türer lediglich im Positionswinkel der B-Säule relativ zum Fahrer unterscheiden. 5 türige Fahrzeuge wiesen einen signifikant höheren Anteil an Querunfällen (Quotient) auf, als der entsprechende 3-Türer.

Welches Bauteil stört Sie in Ihrem eigenen Fzg beim Spurwechsel nach links am meisten?

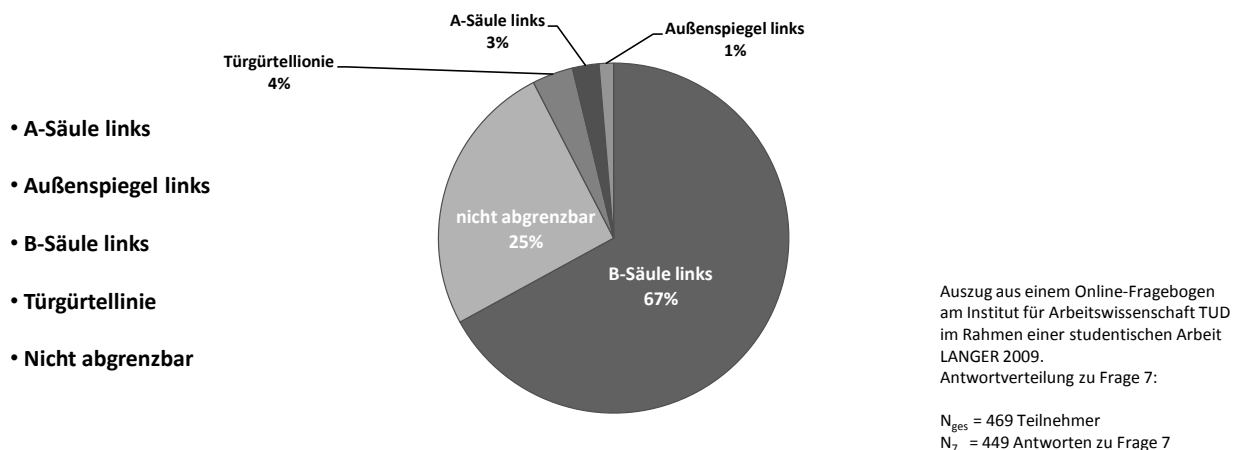


Abbildung 5.1: Auszug aus einer online-Befragung von 469 Autofahrern am IAD aus 2009 hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung durch Fahrzeugbauteile: "Fragebogen zu den Defiziten der Fahrersicht" (LANGER 2009).

Weitere Gründe sprechen für eine Fokussierung der Untersuchung der Seitensicht auf die B-Säule:

- Eine (alternative) Herangehensweise im Sinne einer Übertragung des ganzheitlichen Untersuchungsansatzes der Frontsicht basierend auf einer Blickdichteverteilung für den Seitensichtbereich bzw. für Fahrsituationen, die der Seitensicht zugeordnet werden, scheitert an den technischen Möglichkeiten der Blickbewegungsanalyse. Die typischen großen Blickwinkel der Augen zur Seite relativ zum Kopf schmälern die Zuverlässigkeit des Blickbewegungsanalysesystems erheblich.
- Darüber hinaus beeinflussen bei der Frontsicht noch vergleichsweise viele verschiedene Komponenten des Fahrzeugs die Sicht (Abbildung 5.2). Das macht die Schattenwurfmethode in Kombination mit den gewichteten Bewertungsfeldern zu einer eleganten und effizienten Methode, all deren Einflüsse integrativ zu erfassen und entsprechend Ihrer Einflussstärke bzw. Relevanz zu bewerten. Die geringere Zahl von relevanten Bauteilen und insbesondere die Dominanz der B-Säule machen diesen Ansatz für die Seitensicht jedoch weniger attraktiv, da der erwartete Erkenntnisgewinn einer Anwendung vergleichsweise gering ausfällt.

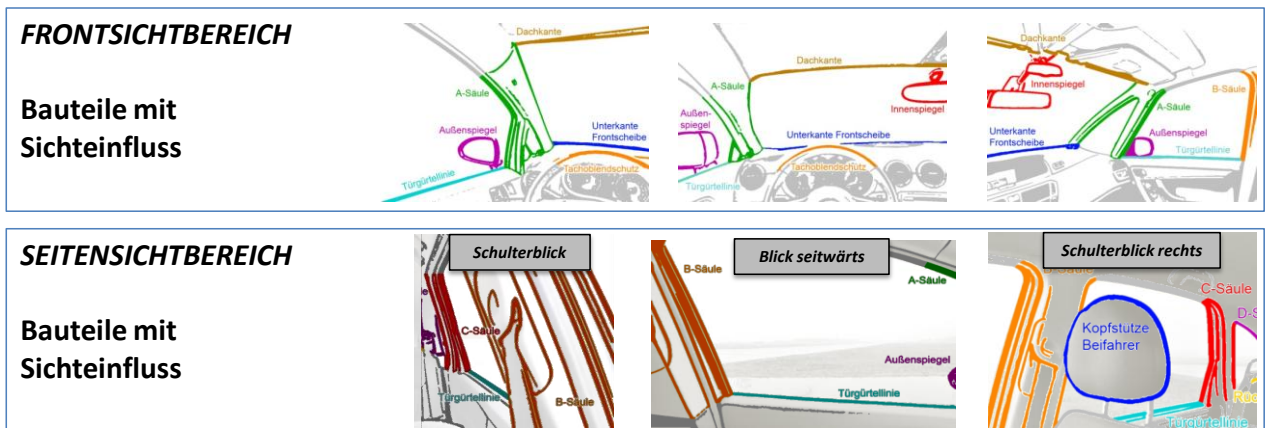


Abbildung 5.2: Sichtbeeinflussende Fahrzeugbauteile. Vergleich für Front- und Seitensichtbereich. Dominanz der B-Säule im Seitensichtbereich.

- Die Verdeckungssituation auf der *Beifahrerseite* hängt neben der statischen Verdeckung der B-Säule eklatant von der Kopfstütze ab (Abbildung 5.2), Neben ihrer Geometrie ist die aktuelle, vom Nutzer gewählte Position im Fahrzeug relativ zur B-Säule jedoch wesentlich entscheidender. Befindet sie sich aus dem Blickwinkel des Fahrers betrachtet direkt vor der B-Säule und ergänzt deren Verdeckungswinkel nicht wesentlich, ist sie relativ irrelevante. Befindet sie sich wie in Abbildung 5.2 (unten rechts) jedoch *hinter* oder *vor* der Säule und ergänzt sie die Verdeckung der B-Säule evtl. sogar lückenlos, ist ihr Einfluss auf die gesamte Seitensichtsituation – und somit auf deren Beurteilung - erheblich. Dieses primär nutzerbestimmte Phänomen kann jedoch kaum durch den Fahrzeughersteller beeinflusst werden (DE102010035203A1 zeigt hierfür eine mechanische Möglichkeit) und wird daher aus der systematischen Untersuchung der Seitensicht herausgehalten.
- Strengere Sicherheitsstandards für Seitencrashes, gestiegene Komfortanforderungen (mehrfache Türdichtungen), die weltweite Verfügbarkeit gleicher Herstellungstechnologien (Punkt- vs. Laserschweißverfahren), der allgegenwärtige Kostendruck sowie Design-, Qualitäts- und andere ergonomische Anforderungen (Gurthöhenverstellung) haben die B-Säulen-Querschnitte in der jüngeren Vergangenheit erheblich wachsen lassen. In diesem Spannungsfeld konkurrierender Anforderungen ist der Bedarf für eine erfolgreiche Integration sichtergonomischer Anforderungen gestiegen und gleichzeitig auf umso fundiertere Aussagen angewiesen.

In Abhängigkeit der B-Säulen-Geometrie und ihrer relativen Lage zum Fahreraugpunkt werden Akzeptanzbereiche anhand systematischer Variantenvergleiche in Probandenversuchen evaluiert. Aufgrund der Mittensymmetrie typischer Fahrzeuge, der geringeren Nähe des Augpunktes zur B-Säule sowie der höheren Unfallschwere für den Fahrer durch übersehen werden die Untersuchungen auf die Geometrie und Position auf der *Fahrerseite* beschränkt.

Einflussparameter der B-Säule auf die Sichtbeeinträchtigung des Fahrers

Für eine Parameterstudie der B-Säule bzgl. der Akzeptanz der Sichtbeeinträchtigung müssen zunächst die B-Säulen-Parameter analysiert werden, die zur Variation der Sichtbeeinträchtigung beitragen. In der Praxis werden die Sichtverhältnisse im Bereich der B-Säule durch zwei voneinander unabhängige „Sichtparameter“ beschrieben (Abbildung 5.3)

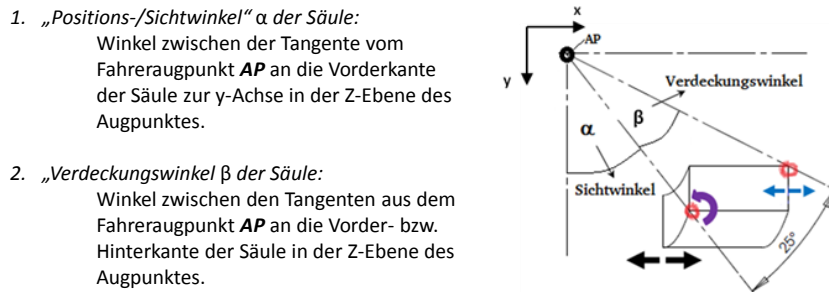


Abbildung 5.3: Definition von Sicht- und Verdeckungswinkel der B-Säule.

Beide Sichtparameter werden von verschiedenen konstruktiven Einflussparametern gesteuert, die teilweise voneinander abhängig sind und deren Variierbarkeit im Fahrzeugentwicklungsprozess unterschiedlich stark ausgeprägt ist und u.U. mit der Wahl der Fahrzeugklasse oder –Kategorie bereits stark eingeschränkt ist. Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 geben einen Auszug der wesentlichen konstruktive Parameter, die den Positions- bzw. Verdeckungswinkel beeinflussen.

Tabelle 5.1: konstruktive Einflussparameter und deren Variierbarkeit im Entwicklungsprozess auf die Sichtparameter der B-Säule.

Bauteilsichtparameter	Konstruktive Einflussparameter der B-Säule	Einflussrichtung auf Sichtparameter	Sichtoptimale Ausführung
Positionswinkel in Z-Ebene auf Augpunkthöhe (Vorderkante)	x-Position der Vorderkante	In den Grenzen des Fahrzeugkonzeptes (3/5-türig)	Zielkonflikt: „Sicht vor“ gegen „Sicht hinter der Säule“.
	y-Position der vorderen Außenkante (Fahrzeugbreite)	Innerhalb typischer Breitenabmessungen der Fahrzeugklasse	Zielkonflikt: „Sicht vor“ gegen „Sicht hinter der Säule“.
	Dacheinzugswinkel (um x-Achse)	Eingeschränkt durch Wechselwirkungen mit der Glastonne, der A- und C/D-Säule, dem Fahrzeuggewicht und den Kopfraummaßen.	Zielkonflikt: Mehr Dacheinzug = mehr Sichtwinkel aber = mehr Verdeckungswinkel
	Säulenwinkel (um die y-Achse)	Eingeschränkt durch Wechselwirkungen mit dem Spiegeldreieck, der Glastonne sowie dem Einstiegscomfort 2. Reihe.	Gegenläufige Auswirkungen auf Sicht an A- und B-Säule
Verdeckungswinkel in Z-Ebene auf Augpunkthöhe (Winkel zw. Vorder- und Hinterkante)	x-Ausdehnung	In den Grenzen des Fahrzeugkonzeptes (3/5türig)	Unklar.
	y-Ausdehnung	Innerhalb typischer Breitenabmessungen der Fahrzeugklasse	Diskrepanz Verdeckungswinkel und nötiger Umfang der Ausgleichbewegung bei gg. Querschnitt
	Dacheinzugswinkel (Kippung um x-Achse)	Eingeschränkt durch Wechselwirkungen mit der Glastonne, der A- und C/D-Säule, dem Fahrzeuggewicht und den Kopfraummaßen.	Unklar. Mehr Dacheinzug vergrößert Sichtwinkel aber auch Verdeckung.
	Säulenquerschnitt	Nur in Wechselwirkung mit Seitencrashanforderungen, verfügbaren Fertigungsmöglichkeiten (Schweißflanschbreite) und Integrationsanforderungen für Türdichtungen und Gurt-Umlenkung/Höhenverstellung.	Je kleiner, desto besser

Es wird deutlich, dass beispielsweise eine Veränderung eines einzelnen Parameters bei Gleichhaltung der anderen (sofern möglich) die Sichtparameter mitunter gegenläufig ändert (Tabelle 5.2). So verringert eine y-Verschiebung des Säulenquerschnitts in Augpunkthöhe zwar die resultierenden Verdeckungswinkel, verringert aber gleichzeitig die Sichtwinkel.

Tabelle 5.2: Auswirkungen positiver Änderungen ausgewählter konstruktiver Parameter der B-Säule auf die Sichtparameter

Einfluss auf Sichtparameter bei positiver Änderung eines konstruktiven Parameter		
Konstruktiver Säulenparameter	Sichtwinkel α (in z-Ebene des Augpunktes)	Verdeckungswinkel β (in z-Ebene des Augpunktes)
Lage Säule / Querschnitt in X	+	Abh. von der Querschnittsform quasi quadratisch: - Länglich und schmal: +
Lage Säule / Querschnitt in Y		+
Dacheinzugswinkel	+	-
Säulenwinkel in Seitenansicht	+	Abh. von der Querschnittsform quasi quadratisch: - Länglich und schmal: +
Säulenquerschnittsverhältnis: XY		Abh. vom Sichtwinkel: Je kleiner α desto quadratischer Je größer α desto länger & schmaler

Zur einfachen und eindeutigen Beschreibung der Sichtbedingungen und insbesondere zur Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit wird daher statt auf direkte Geometriewerte der Säule auf die abstrahierten, unabhängigen, augpunktbezogenen Sichtparameter zurückgegriffen. Hierdurch wird das Problem auf Winkelbereiche beschränkt und die detaillierte konstruktive Ausgestaltung der verdeckungserzeugenden Säule bleibt außen vor. Aussagen können allgemeingültig formuliert und durch die Referenzierung auf den Augpunkt später in verschiedene Fahrzeugkonzepte übertragen werden. Dabei liegt die Annahme zu Grunde, dass die absoluten Dimensionen bzw. Positionen der Einflussparameter keinen nennenswerten Einfluss auf die Bewertung der Sichtbedingungen haben, sofern die gleichen Sicht- und Verdeckungswinkel erzeugt werden.

5.1. Untersuchungskonzept

Ziel der im Folgenden beschriebenen Untersuchung ist es also eine Bewertungsgrundlage für die Beurteilung der Seitensicht zu schaffen, die sich primär am Sichtparameter der B-Säule orientiert. Dazu werden systematische Beurteilungsfahrten mit einer variablen B-Säule unternommen, die verschiedene Parameterkombinationen darstellbar macht. Der Sichtparameter „Verdeckungswinkel“ wird hierbei nicht variiert, da er im Rahmen der Fahrzeugentwicklung unter Einbeziehung o.g. Anforderungen stets zu minimieren versucht wird. Zudem ist der erwartete Erkenntnisgewinn einer Studie zum Akzeptanzbereich des Verdeckungswinkels eher gering, da ein geringer Verdeckungswinkel stets besser beurteilt werden wird als der größere. Folglich ließe sich trivial als Ergebnis das Minimum des präsentierten Variationsbereiches vorhersagen. Der Sichtparameter „Sichtwinkel“ hingegen, kann innerhalb der Fzg-Entwicklung wesentlich stärker variiert werden. Zudem wird für die Akzeptanz des Sichtwinkels postuliert, dass eine weit vorne liegende B-Säule mit sehr geringem

Sichtwinkel bereits besser beurteilt werden könnte als eine mit einem größeren Sichtwinkel, da der Fahrer dann den Bereich hinter der Säule bereits besser nutzen kann. Die Frage nach dem optimalen bzw. akzeptablen Sichtwinkel wäre demnach nicht trivial nach dem Motto „je weiter hinten desto besser“ zu beantworten.

Anhand eines Screenings verschiedener Fahrzeuge wird daher zunächst ein typischer Säulen-Verdeckungswinkel bestimmt, der über die Versuche hin gleichgehalten wird und gleichzeitig die Darstellung einer realistischen Säulenverdeckung sicherstellt.

Zur Erhebung wird eine Versuchsumgebung im realen Straßenverkehr geschaffen, die eine Vielzahl seitensichtrelevanter Situationen (Abbiege-, Fahrstreifenwechsel-, Einfädelsituationen etc.) bereitstellt. Diese wird mit den unterschiedlichen B-Säulen-Konfigurationen systematisch durchfahren und wiederum anhand der 10-Stufigen GM-Rating Scale (vgl. Kapitel 4) hinsichtlich ihrer Sichtbeeinträchtigung vom Probandenkollektiv beurteilt.

Die Wahl der beiden Sichtparameter Sichtwinkel und Verdeckungswinkel als augpunktbezogene (Variations-)Parameter hat zur Folge, dass die spezifische Augpunktposition jedes Probanden ermittelt und die Sicht- und Verdeckungswinkel darauf individuell eingestellt werden müssen. Dies betrifft neben der absoluten Position der B-Säule in x-Richtung auch eine notwendige Variation des Säulenquerschnitts in x und z.

5.2. Variationsbereich der Sichtparameter

Die Definition des Variationsbereiches orientiert sich ebenfalls an o.g. Screening ausgeführter Fahrzeuge und B-Säulenquerschnitte, um diesen realistisch zu halten und implizit die Einhaltung technischer Anforderungen im Rahmen der Möglichkeiten zu gewährleisten. Abbildung 5.4 zeigt schematisch die überlagerten Säulenbauräume sowie die entsprechenden Winkel.

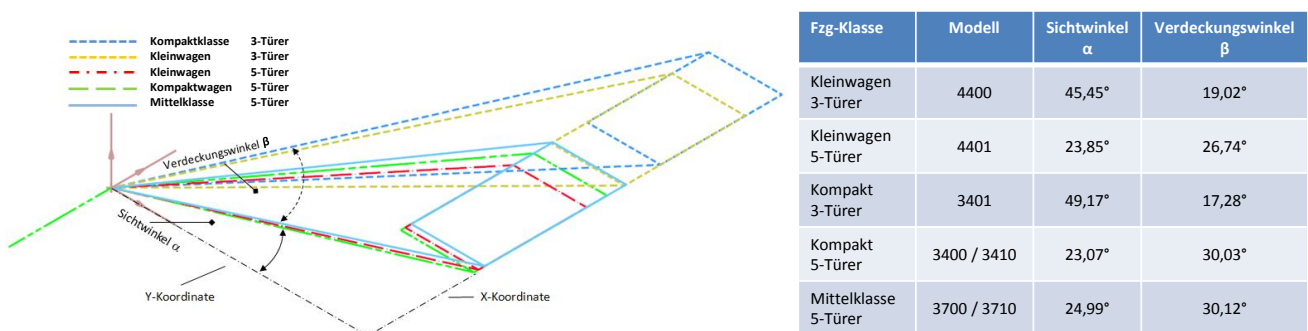


Abbildung 5.4: Schematische Darstellung des Bauraumes typischer, ausgeführter B-Säulen-schnitte aktueller Produktionsfahrzeuge verschiedener Klassen (links) und deren Sicht- und Verdeckungswinkel, überlagert am jeweiligen Augpunkt / Mittelpunkt der SAE-Augellipse.

Die in Abbildung 5.4 gelisteten Winkel beziehen sich auf den Referenzaugpunkt („GCIE-Augpunkt“, 635mm senkrecht über dem Definitions-H-Punkt). 3-Türige Fahrzeuge weisen typischerweise erheblich größere Sichtwinkel und aufgrund der größeren Entfernung des Querschnitts zum Fahrer

auch kleinere Verdeckungswinkel auf und werden daher als relativ unproblematisch bzgl. deren Sicht- einfluss betrachtet. Diese Einschätzung wird zudem durch die eingangs erwähnten statistischen Untersuchungen von SIVAK et al. (2006) und SIVAK et al. (2007) bekräftigt. Daher wird der Varia- tionsbereich der Sichtparameter auf einen für 5-türige Fahrzeuge realistischen Bereich beschränkt. Ausgehend von einem Sichtwinkel von 23° bezogen auf den Referenzpunkt kann sich für einen großen Fahrer mit sehr langen Beinen und entsprechend weit hinten liegendem Augpunkt in einem fünftürigen Fahrzeug ein Sichtwinkel von ca. 8° ergeben. Für kleine Fahrer ergeben sich Winkel größer 23° , die bislang als unkritisch betrachtet werden. Der Variationsbereich des Sichtwinkels für die Untersuchung wird daher mit 8° bis 26° festgelegt. Der Verdeckungswinkel wird mit 30° festgelegt, da dieser Wert einerseits für aktuelle, fünftürige Fahrzeuge unter Berücksichtigung technischer Rahmenbedingungen als typisch bzw. optimiert betrachtet werden kann und die technischen Möglichkeiten zur Beeinflussbarkeit des Säulenquerschnitts und resultierenden Verdeckungswinkels deutlich dem Gestaltungsspielraum zur Positionierung der Säule und des Sichtwinkels nachstehen.

5.3. Versuchsaufbau

Die Untersuchung der B-Säule findet in einem Fahrzeug ohne eigene B-Säulen (lediglich ein schmaler Fensterdichtungssteg ist vorhanden) mit idealen Voraussetzungen für die Integration einer variablen B-Säule und einer witterungsunabhängigen Durchführung der Studie im realen Straßen- verkehr statt. Zur Darstellung der verschiedenen, augpunktspezifischen Positions- und Verdeckungs- winkel im Versuchsfahrzeug kommt eine in zwei Achsen variable B-Säulen-Attrappe zum Einsatz (Abbildung 5.5), die über ein Schienensystem in ihrer absoluten X-Position sowie in ihrer Breite (Abstand Vorder-/Hinterkante) auf den Fahreraugpunkt justiert werden kann.



Abbildung 5.5: B-Säulen-Attrappe im quasi-B-Säulenfreien Versuchsträger. Bild zeigt Konfiguration für breitesten Verdeckungswinkel und einen kleinen Sichtwinkel.

Für unterschiedliche Augpunktpositionen werden zur Darstellung und Beurteilung identischer Sicht- und Verdeckungswinkel jeweils unterschiedliche Einstellungen der Attrappe im Fahrzeug vorgenom- men. Dies ermöglicht die spätere Übertragung der Ergebnisse vom Versuchsfahrzeug in andere, zukünftige Fahrzeugprogramme.

Die Konstruktion der Attrappe berücksichtigt zudem die Auswirkungen des Dacheinzugs in y in Wechselwirkung mit der Augpunkthöhe auf die resultierenden Sichtparameter durch einen in z variierenden Querschnitt (vgl. Abbildung 5.6, S.92)

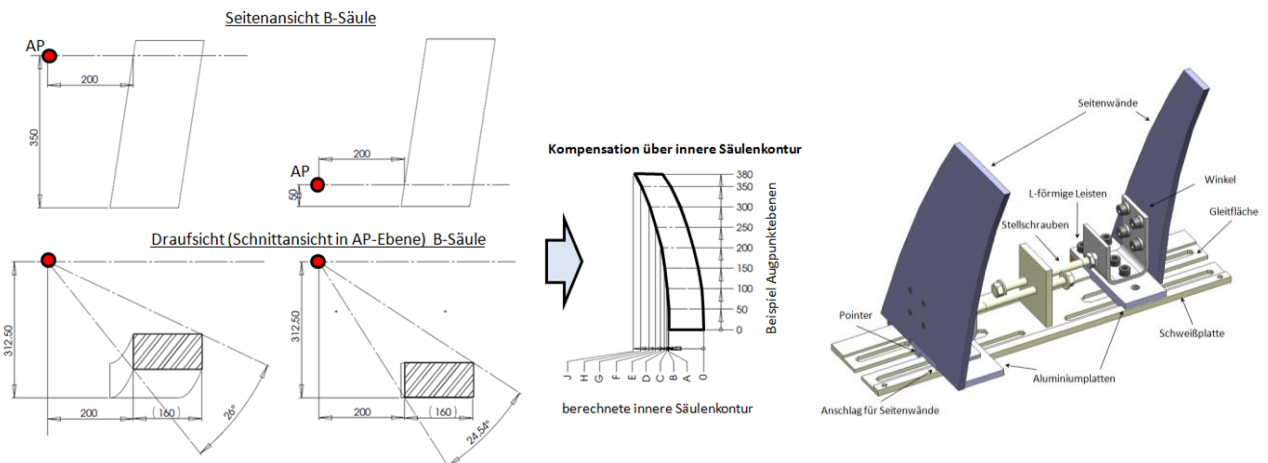


Abbildung 5.6: Links: Auswirkungen unterschiedlicher Augpunkthöhen bei gleichem Sichtwinkel und z-invariantem Querschnitt (links); Kompensation dieses Effektes anhand Stützstellen-basierter Berechnung der vorderen und hinteren Säulenkontur zur Konstanthaltung des Verdeckungswinkel in unterschiedl. Z-Schnitthöhen (Mitte). B-Säulen-Attrappe mit resultierenden Seitenwandprofilen und Verstelleinrichtung (nicht dargestellt: Lücke zw. Seitenwänden mit schwarzer Lederhaut geschlossen) (rechts).

5.3.1. Versuchsstrecke

Um eine kontextbezogene Beurteilung der verschiedenen Säulenparameterkonfigurationen zu ermöglichen, besteht die Teststrecke im Straßennetz von Rüsselheim aus einer Aneinanderreihung verkehrsräumlicher Verhältnisse, die die Nutzung des Sichtbereiches im Bereich der fahrerseitigen B-Säule aufgrund entsprechender Verkehrssituationen erfordern (Abbildung 5.7). Dabei umfasst die Strecke innerstädtische wie autobahnähnliche Verkehrsräume um die Bandbreite zu erwartender Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Ego- und sich von hinten nähernden anderen Fahrzeugen und deren Einfluss auf das Blickverhalten entsprechend breit in den Versuchsablauf zu integrieren.



Abbildung 5.7: Überblick der Verkehrssituationen zur kontextbezogenen Beurteilung der Sichtverhältnisse im Bereich der B-Säule (Kartenquelle: GOOGLE (2014)).

5.3.2. Probandenkollektiv

Zur Beurteilung steht ein 30-köpfiges Probandenkollektiv aus Mitarbeitern des Industriepartners zur Verfügung, das sich gemäß Abbildung 5.8 bzgl. Geschlecht, Körpergröße und Alter differenziert.

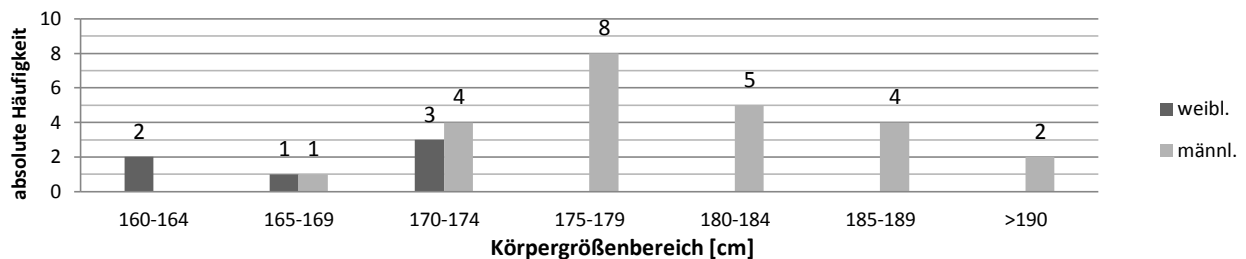


Abbildung 5.8: Körpergrößen und Geschlechtsverteilung des Probandenkollektivs

Besonderes Augenmerk bei der Auswahl der Probanden bzw. deren Einsatz liegt auf dem Zusammenhang der Körpergröße bzw. der resultierenden Augpunktposition und dem Erfahrungshorizont bzgl. Sichtbedingungen im Bereich der B-Säule. Es erscheint nicht sinnvoll, einem kleinen Probanden einen Sichtwinkel von 8° beurteilen zu lassen, da sich dieser Sichtwinkel völlig seinem Erfahrungshorizont entzieht, da ein Fahrzeug mit einer derart weit vorn liegenden B-Säule praktisch nicht existieren kann. Umgekehrt ist es nicht zielführend einen sehr großen Fahrer mit dem maximal betrachteten Sichtwinkel zu konfrontieren. Daher wird das Probandenkollektiv anhand der Augpunktposition in drei Gruppen eingeteilt und den Variationsbereichen zugeordnet, die im dynamischen Fahrversuch evaluiert werden sollen (Abbildung 5.9).

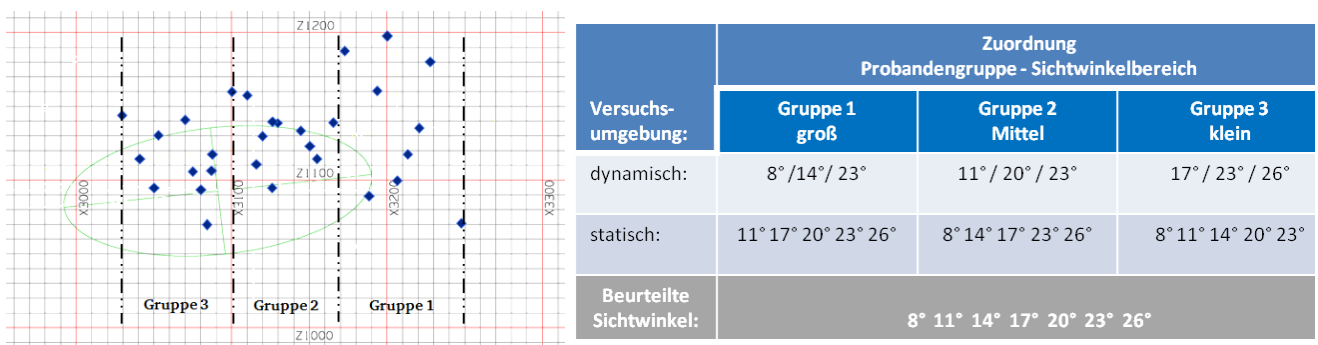


Abbildung 5.9: Augpunktpositionen im Fahrzeugkoordinatensystem inkl. SAE-Augellipse des Versuchsfahrzeugs. Augpunktmessmethode identisch zu der in Kapitel 4 beschriebenen (links). Zuordnung der Gruppen zu den Sichtparamtervarianten (rechts).

Im Anschluss an die dynamischen Beurteilungen werden die übrigen Varianten im statischen Versuch beurteilt. Aus Vergleichbarkeitsgründen wird der Sichtwinkel von 23° von allen Probandengruppen sowohl im statischen wie dynamischen Versuch beurteilt.

5.3.3. Erhebungsmethode

Die Erhebung der subjektiven Beurteilung geschieht mittels eines Fragebogens in Verbindung mit der zehnstufigen „GMUTS“ Bewertungsskala (Kapitel 4, Tabelle 4.5). Der Fragebogen umfasst neben Fragen zu Alter, Geschlecht und anthropometrischen Details auch die Erfassung der Fahrerfahrung sowie dem eigenen Fahrzeugtyp und dessen Karosseriebauart (insbesondere Differenzierung in 3-/5-Türer). Letztgenanntes dient in Verbindung mit dessen Augpunktposition der Ermittlung der gewohnten B-Säulenposition des Probanden im eigenen Fahrzeug um dies bei der Zuteilung zu den Probandengruppen berücksichtigen zu können. Zur situationsspezifischen Beurteilung des Sichteinflusses der jeweils gezeigten Parametervariante werden die Probanden unmittelbar während oder nach der Verkehrssituation um eine Bewertung der Sichtbedingungen an der B-Säule gebeten. Der verwendete Fragebogen ist Anhang I (statische Bewertung; Anhang J) zu entnehmen.

5.3.4. Hypothesen

Nach der klassischen Vorstellung sind die Seitensichtverhältnisse allgemein dann umso besser, je weiter hinten die B-Säule relativ zum Fahrer bzw. absolut im Fahrzeug positioniert wird. Wie oben ausgeführt trifft dies auf den objektiven Sicherheitsaspekt offenbar zu, für die Subjektivbeurteilung lässt sich daraus zunächst eine erste Hypothese formulieren:

H1: „Je größer der Sichtwinkel der B-Säule wird, desto besser ist im Mittel die Beurteilung der Sicht zur Seite.“

Dieser Vorstellung folgend kann eine weitere Hypothese aufgestellt werden, die postuliert, dass eine Verringerung des Sichtwinkels nicht allein zu einer Verschlechterung der Beurteilung sondern bei Unterschreitung eines zu bestimmenden Winkels eine Akzeptanzgrenze der Sichtbedingungen erreicht wird. Die entsprechende Hypothese lautet:

H2: „Es existiert ein unterer Grenzwert des Sichtwinkels an der B-Säule, bei dessen Unterschreitung die Sichtbedingungen im Mittel als nicht mehr akzeptabel (<6) bewertet werden.“

Eine dritte Hypothese kann als Sonderfall verstanden werden. Bei sehr großen Probanden bzw. sehr weit hinten liegenden Augpunkten und Fahrzeugen mit kurzen Vordertüren bzw. weit vorne liegender B-Säule kann es vorkommen, dass die Fahrer beim Schulterblick nicht mehr *vor* sondern bereits *hinter* der B-Säule vorbeischaun (können). In dieser Situation ist entgegen *H1* zu erwarten, dass eine geringfügige Vergrößerung des Sichtwinkels zu einer Verschlechterung der Beurteilung der Säule führt. Hieraus leitet sich folgende Hypothese ab:

H3: „Es existiert (innerhalb des Variationsbereiches) ein Bewertungs-Minimum für einen Sichtwinkelwert, eine Erhöhung oder Verminderung des Sichtwinkels ausgehend von diesem Wert führt zu einer Verbesserung der Bewertung.“

Sollte die dritte Hypothese nicht verworfen werden können, hätte dies eine Einschränkung des Geltungsbereichs von *H1* zur Folge.

5.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse in Form von Beurteilungen verschiedener B-Säulen Sichtwinkel liegen wie o.g. sowohl aus dynamischen wie aus statischen Beurteilungen vor. Mit Ausnahme des 23° Winkels liegen aus versuchsplanerischen Gründen für jeden simulierten Sichtwinkel nur entweder die dynamische oder die statische Beurteilung vor. Sollen die weiteren Analysen und Schlussfolgerungen auf den aggregierten Daten beider Beurteilungen basieren, muss zunächst überprüft werden, ob die beiden Teilergebnismengen hinreichend valide aggregiert werden können. Konkret muss die Vergleichbarkeit der statischen und dynamischen Beurteilungsergebnisse untersucht und sichergestellt werden.

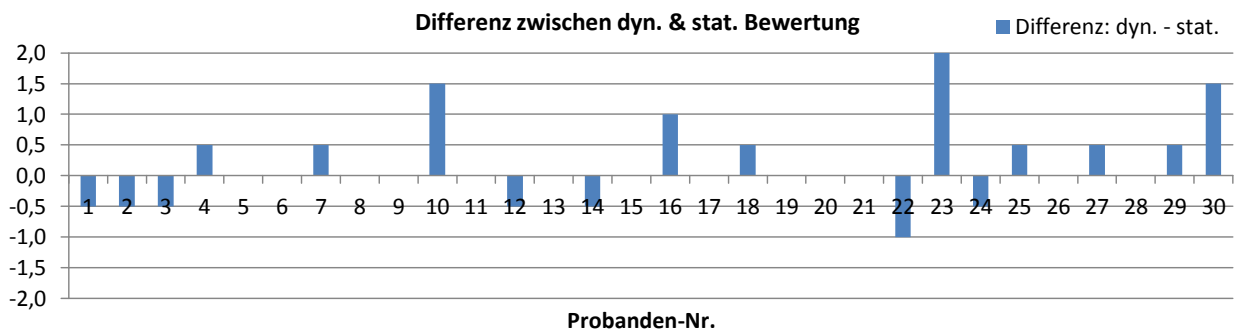


Abbildung 5.10: Differenzen dynamischer und statischen Bewertung für alle 30 Probanden.

Diese Untersuchung findet auf Basis des 23° Winkels für das gesamte Probandenkollektiv zwecks anschließender Selektion bzgl. der Beurteilungsdifferenz (Abbildung 5.10). Für das ursprüngliche Kollektiv ($N=30$) ist in Abbildung 5.11 (links) für jeden Probanden (Punkt) die statische gegenüber der dynamischen Beurteilung aufgetragen. Ebenso sind die ideale Ausgleichsgerade (für identische Beurteilung $R = 1,0$) sowie die als grenzwertig betrachteten Abweichungen von $|0,5|$ bzw. $|1,0|$ als entsprechende Grenzlinien angedeutet.

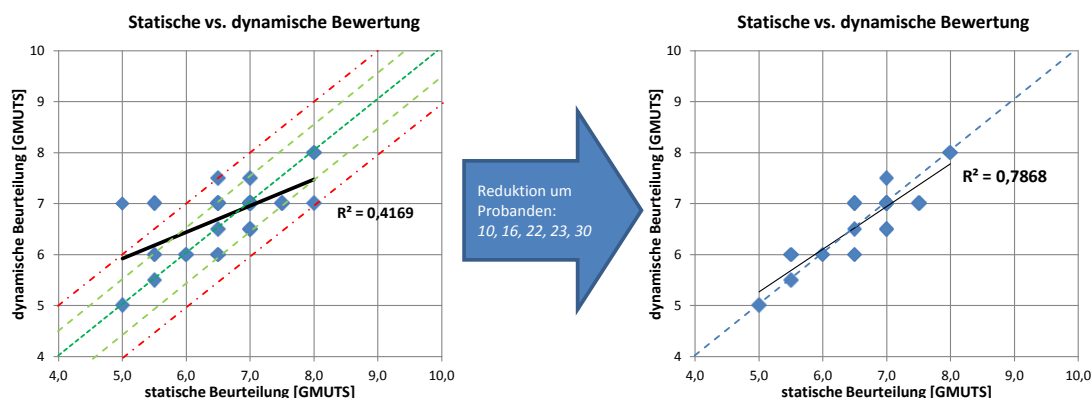


Abbildung 5.11 : Vergleich statischer und dynamischer Beurteilungsergebnisse des 23°-B-Säulen-Sichtwinkels für das gesamte Probandenkollektiv $N_{\text{ges}} = 30$ (links). Reduziertes Kollektiv zur Optimierung der Korrelation stat. und dyn. Beurteilung $N_{\text{red}} = 25$ (rechts).

Der Spearmansche Korrelationskoeffizient beträgt für das nichtkorrigierte Kollektiv zunächst $R = 0,65$. Da die erwünschte Aggregation der beiden Beurteilungsteilmengen aber die gesamte Bandbreite beurteilter Sichtwinkel beträfe, sollte für den vergleichbaren Fall des 23°-Winkels eine stärkere

Korrelation gefordert werden. Daher wird das Kollektiv um jene Probanden verringert, deren Beurteilungsdifferenzen jenseits von $|0,5|$ GMUTS-Punkten liegen, was eine Verbesserung der Korrelation auf $R = 0,89$ bewirkt. Auf Grund dieser Einschränkung wird die folgende Analyse auf die aggregierten Beurteilungsergebnisse basiert. Eine Übersicht des Wertebereichs der aggregierten Probandenbewertung der simulierten Sichtwinkel (Details im Anhang K) wird in Abbildung 5.12 in einem Boxplot dargestellt.

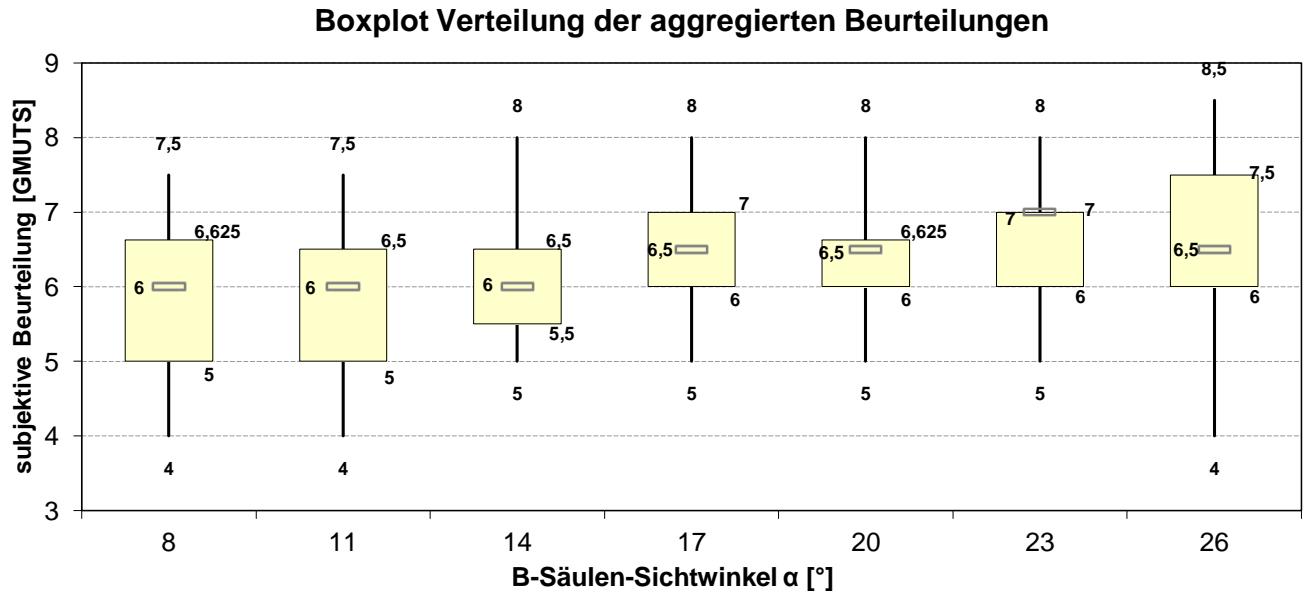


Abbildung 5.12: Boxplot der aggregierten Beurteilungsdaten des korrigierten Kollektivs (Für B-Säulen-Sichtwinkel $\alpha = 23^\circ$: $N_{23^\circ} = 50$, sonst $N_{sonst} = 25$).

Dem Boxplot-Diagramm soll an dieser Stelle jedoch noch nicht zu viel Bedeutung beigemessen werden, da sich die Quartile bei dem relativ geringen Stichprobenumfang noch relativ leicht verschieben können. Daher wird für die weitere Betrachtung auch die Mittelwertverteilung herangezogen.

Abbildung 5.13 zeigt eine im Mittel „noch akzeptable“ Beurteilung für $\alpha \geq 14^\circ$, während kleinere Sichtwinkel unter der Akzeptanzgrenze (vgl. Tabelle 4.5, S.77) liegen.

Der Spearmansche Korrelationskoeffizient $R = 0,96$ (Abbildung 5.13) weist zudem auf eine starke, gleichgerichtete Korrelation zwischen B-Säulen-Sichtwinkel und den Mittelwerten der Sichtbeurteilung hin. Zur Überprüfung der Hypothese 1 folgt ein Hypothesentest auf Unabhängigkeit.

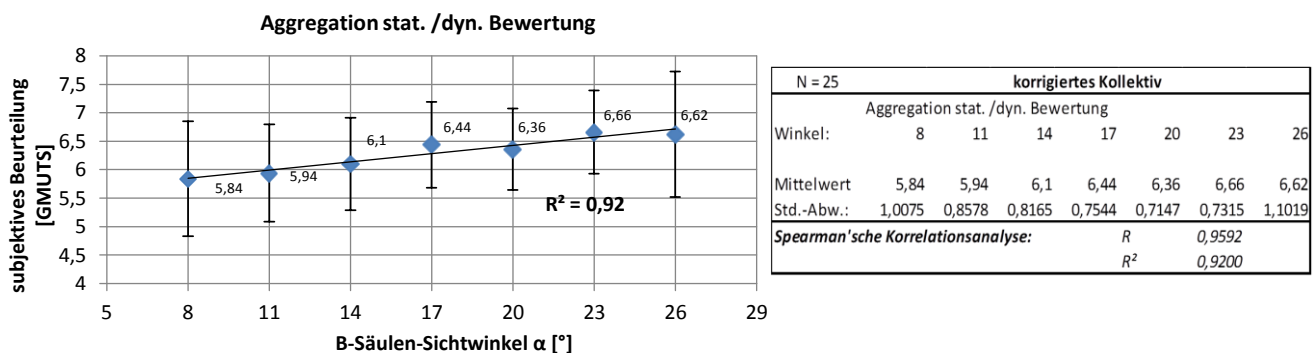


Abbildung 5.13: Mittelwerte & Standardabweichung der subjektiven B-Säulen-Sichtwinkelbeurteilung aggregiert aus den stat. und dyn. Teiluntersuchungen des korrigierten Kollektivs.

Verifizierung Hypothese 1

Die Überprüfung der H_1 bezüglich der erwarteten Korrelation zwischen den Merkmalen *Sichtwinkel* und *subjektiver Seitensichtbeurteilung* erfolgt anhand des parameterfreien Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten. Dieser gilt bei Anwendung auf intervallskalierten Daten als robuster als ein einfacher Test auf lineare Korrelation und ist zudem widerstandsfähiger gegen Ausreißer.

Tabelle 5.3 zeigt die Rangkorrelationskoeffizienten bzgl. der Mediane und Mittelwerte.

Tabelle 5.3: Spearman's r_s für Mediane und Mittelwerte.

Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient für Mediane:									
Anzahl Stichprobe	i	1	2	3	4	5	6	7	Summe:
Sichtwinkel	x_i	8	11	14	17	20	23	26	-
Median	y_i	6	6	6	6,5	6,5	7	6,5	-
Rang(Winkel)	$R(x_i)$	1	2	3	4	5	6	7	28
Rang(Bewertung)	$R(y_i)$	2	2	2	5,33	5,33	7	5,33	28,99
Rangplatzdifferenz	d_i	-1	0	1	-1,33	-0,33	-1	1,67	-0,99
	d_i^2	1	0	1	1,77	0,11	1	2,79	7,67
$r_{s, \text{Median}} = 0,86$									

Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient für Mittelwerte:									
Anzahl Stichprobe	i	1	2	3	4	5	6	7	Summe:
Sichtwinkel	x_i	8	11	14	17	20	23	26	-
Mittelwerte	y_i	5,84	5,94	6,1	6,44	6,36	6,66	6,62	-
Rang(Winkel)	$R(x_i)$	1	2	3	4	5	6	7	28
Rang(Bewertung)	$R(y_i)$	1	2	3	5	4	7	6	28
Rangplatzdifferenz	d_i	0	0	0	-1	1	-1	1	0
	d_i^2	0	0	0	1,00	1,00	1	1,00	4,00
$r_{s, \text{Mittel}} = 0,929$									

Zur Prüfung der Signifikanz der Korrelation der beiden Merkmale wird der Spearman-Test auf Unabhängigkeit angewendet. Hierfür wird die Nullhypothese „Sichtwinkel und Sichtbeurteilung“ sind statistisch unabhängig“ mit $H_0: R = 0$ aufgestellt. Diese kann gemäß dem vorherigen Korrelations-Test auf dem Signifikanzniveau S zugunsten der Gegenhypothese $H_1: R > 0$ („Sichtwinkel und Sichtbeurteilung“ sind gleichsinnig korreliert) abgelehnt werden, wenn der ermittelte Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten r_s größer als die, dem Signifikanzniveau entsprechende Testschranke $r_{s,n}^*$ ($r_{0,90,7} = 0,71$; $r_{0,95,7} = 0,79$; $r_{0,99,7} = 0,93$, vgl. Anhang L) ist.

Die für die Stichproben ermittelten Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten bezüglich der Mediane ($r_{s, \text{Median}} = 0,860$) als auch der Mittelwerte ($r_{s, \text{Mittel}} = 0,929$) überschreiten die Testschranken $r_{0,95,7}^* = 0,79$ für einen *signifikanten* ($S = 95\%$) Zusammenhang womit Hypothese 1 nicht verworfen werden kann.

Die Bewertung der Sicht zur Seite im Bereich der B-Säule kann als stark positiv korreliert mit dem Sichtparameter „Sichtwinkel“ der B-Säule bezeichnet werden.

Verifizierung Hypothese 2

Bei der Betrachtung des Boxplots (Abbildung 5.12) fällt auf, dass ein Sichtwinkel von 14° und kleiner von jeweils 50% der Probanden als bestenfalls „noch akzeptabel“ beurteilt wird ($\text{Median} = 6$). Zudem liegen die Beurteilungsmittelwerte für $\alpha < 14^\circ$ unterhalb von 6 (Abbildung 5.13). Sichtwinkel $> 14^\circ$ hingegen erhalten von jeweils 75% der Probanden mindestens ein „noch akzeptabel“ oder besser. Die Beurteilungsmittelwerte für $\alpha > 14^\circ$ liegen ebenfalls deutlich über der Akzeptanzgrenze von 6, während der Mittelwert für $\alpha = 14^\circ$ mit 6,1 die Akzeptanzgrenze nur knapp überspringt. Diese tendenzielle Zweiteilung der Ergebnisse könnte als Hinweis für die Bestätigung von H_2 gewertet werden,

wonach postuliert wird, dass es einen Sichtwinkel gibt, dessen Unterschreitung zu einer nicht akzeptablen Beurteilung führt.

Zur statistisch genauer Untersuchung dessen wird ein einfacher t-Test (Einstichproben-t-Test) für den Sichtwinkel 11° (bzw. 8°) durchgeführt. Dabei wird allgemein anhand des Mittelwertes einer *Stichprobe* geprüft, ob der Mittelwert der entsprechenden *Grundgesamtheit* sich signifikant von einem vorgegebenen Sollwert unterscheidet. Im vorliegenden Fall wird linksseitig auf signifikante Unterschreitung der Akzeptanzgrenze von 6 GMUTS-Punkten getestet.

Die Null- bzw. Alternativhypothesen für den hierfür verwendeten linksseitigen t-Test lauten:

$$H_0: \mu \geq \mu_0 = 6 \quad ; \quad H_1: \mu < \mu_0 = 6$$

Anhand der Mittelwerte \tilde{x} und Standardabweichungen s (siehe Abbildung 5.13) ergeben sich gemäß

$$t = \sqrt{n} \frac{\tilde{x} - \mu_0}{s}$$

folgende Prüfwerte: $t_{8^\circ} = -0,7940$; $t_{11^\circ} = -0,3497$

Die zu vergleichende Testschranke $T(1 - \alpha, n - 1)$ bestimmt sich laut Tabelle der Student-Verteilung für ein Signifikanzniveau von $\alpha_{sig} = 5\%$ zu:

$$T(0,95, 24) = 1,711$$

Die Prüfbedingung zur Ablehnung der H_0 des linksseitigen t-Tests $t < -T(1 - \alpha_{sig}, n - 1)$ wird somit weder für 8° :

$$t_{8^\circ} = -0,7940 \not< -1,711$$

noch für 11° :

$$t_{11^\circ} = -0,3497 \not< -1,711$$

erfüllt.

Demnach kann im Sinne der Hypothese 2 keine signifikante Unterschreitung der Akzeptanzgrenze von GMUTS 6 durch Unterschreitung des Sichtwinkels von 14° nachgewiesen werden. Hypothese 2 wäre strenggenommen abzulehnen.

Der entsprechende zweiseitige Test für 17° zeigt die signifikante ($\alpha_{sig} = 5\%$) Verschiedenheit der Grundgesamtheit von der Akzeptanzgrenze 6:

$$|t_{17^\circ}| = |2,916| > 2,064 = T(1 - \frac{\alpha_{sig}}{2}, n - 1)$$

Der anschließende rechtsseitige Test bestätigt, den Mittelwert signifikant über der Akzeptanzgrenze:

$$t_{17^\circ} = 2,916 > 1,711 = T(1 - \alpha_{sig}, n - 1)$$

Auch wenn die Hypothese 2 somit streng statistisch nicht beibehalten werden könnte, so kann für die Praxis dennoch die Erkenntnis gewonnen werden, dass der B-Säulensichtwinkel $\alpha = 17^\circ$ nicht unterschreiten sollte, wenn eine bessere Beurteilung als „noch ausreichend“ sichergestellt werden soll.

Basierend auf diesen Betrachtungen kann ein B-Säulen-Sichtwinkel von $\alpha = 17^\circ$ als Untergrenze für einen akzeptierten Wert empfohlen werden.

Verifizierung Hypothese 3

Hypothese 3 ist von $H1$ nicht unabhängig, da beide nicht gleichzeitig zutreffen können. Da $H1$ mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% nicht zurückgewiesen werden kann, muss $H3$ statistisch verworfen werden.

Der Boxplot der Bewertungsverteilung (Abbildung 5.12) sowie der Graph der Standardverteilung nähren jedoch die Vermutung, dass sich die Falsifizierung bzw. Verifikation von $H3$ (und damit auch $H1$) für eine *körpergrößendifferenzierte* Betrachtung des Probandenkollektivs (Beschränkung auf kleine / große Probanden) evtl. anders darstellen könnte. Die großen Wertebereiche zwischen dem unteren und dem oberen Quartil der Bewertungen für kleine Sichtwinkel (Abbildung 5.12) sowie die Standardverteilungen sind weitere Indizien. Insbesondere für das Teilkollektiv der großen Fahrer (Gruppe1), die den $H3$ zugrunde gelegten Effekt kennen könnten, ist dieser Hinweis zu untersuchen. Aufgrund der kleineren, korrigierten (Teil-)Kollektive ($N = 8/9/8$) wird diese Untersuchung auf eine qualitative Betrachtung der Mittelwerte bzw. Mediane beschränkt (Abbildung 5.14).

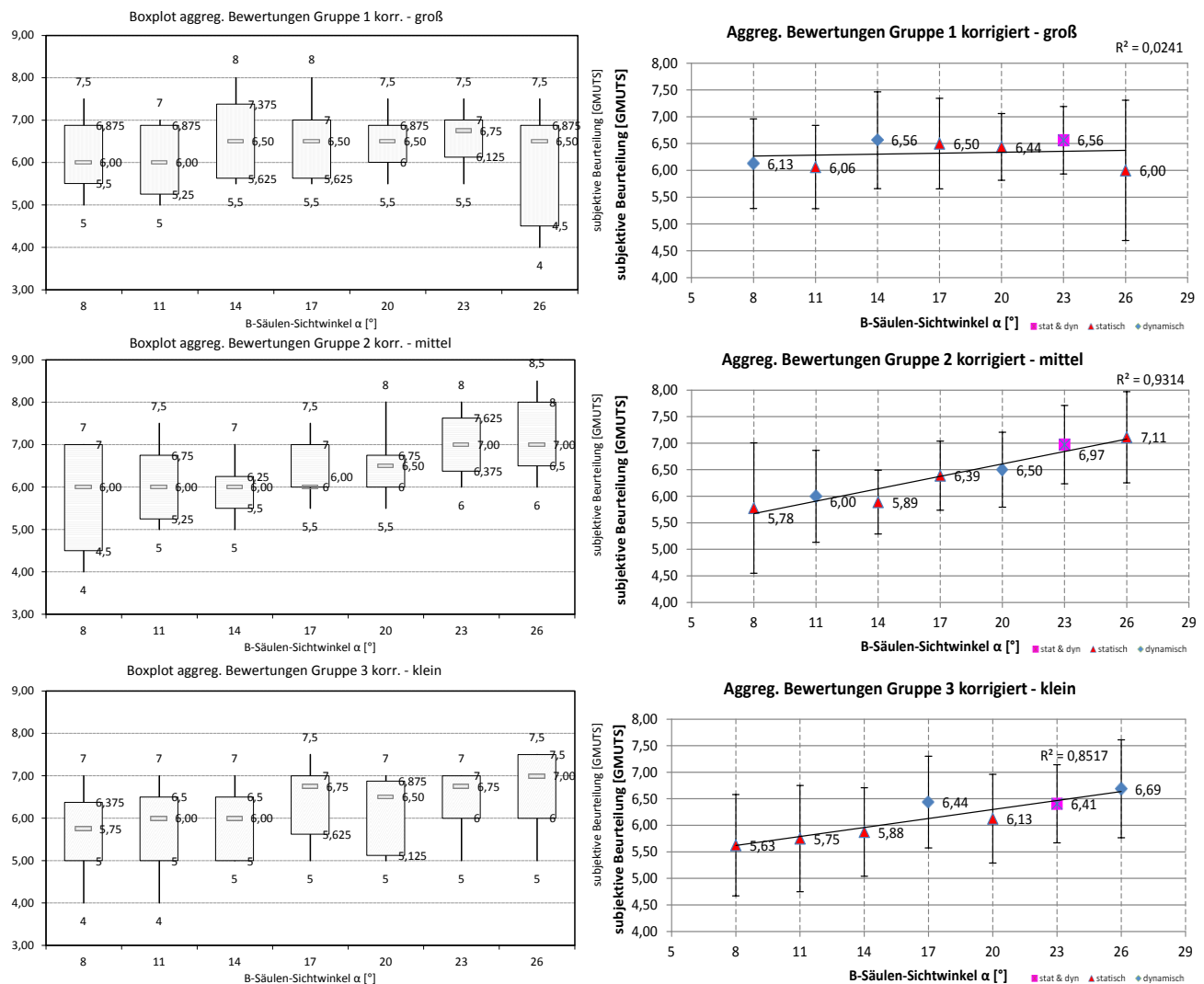


Abbildung 5.14: Boxplots & Mittelwerte (+/- 1fache SD) der aggregierten Beurteilungen der sieben getesteten B-Säulen Sichtwinkel

Die drei probandenspezifischen Mittelwertverteilungen bestätigen jedoch die Verwerfung von $H3$. Gruppe 1 allein zeigt das postulierte Verhalten nicht. Die kleinsten Sichtwinkel erhalten die nahezu geringsten gruppeninternen Bewertungen. Die Mediane bzgl. Gruppe 1 könnten $H3$ noch unterstützen aber aufgrund der für die Streubreite und den geringen Teilkollektivumfang kleinen Unterschiede wird auch für die gruppendifferenzierte Betrachtung an der Verwerfung von $H3$ festgehalten. Die Betrachtung von Gruppe 2 und 3 unterstützt dies ebenfalls.

Selbst eine noch detailliertere Betrachtung auf Ebene der Einzelbewertungen je Proband (Abbildung 5.15) liefert keinen Hinweis darauf, Hypothese 3 zumindest für Gruppe 1 beizubehalten. Lediglich Proband Nr. 3 zeigt das postulierte Beurteilungsverhalten, während Proband 7 sogar die Nutzung des hinteren Seitenfensters für die Seitensicht generell zu bevorzugen scheint. Sein Beurteilungsverhalten zeigt entgegen $H1$ einen gegengerichteten Zusammenhang zwischen Säulenwinkel und Beurteilung.

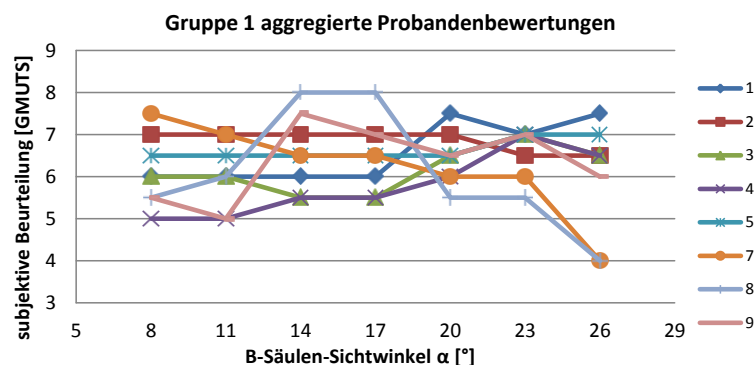


Abbildung 5.15: Einzelergebnisse der Sichtwinkelbeurteilung probandenweise.

So dürfte die auffällig schlechte Beurteilung des größten Sichtwinkels von Gruppe 1 in Abbildung 5.14 von der Verringerung der Durchsichtsfläche der hinteren Seitenscheiben getrieben sein, die sich insbesondere bei großen Fahrern bei Einstellung des größten Sichtwinkels (und weiterhin fixierter C-Säule) ergibt.

Ein statistischer Zusammenhang, der sich anhand einer Korrelation aufzeigen lässt, hat streng genommen noch keine kausale Beweiskraft. Da die Bewertung der Sicht der simulierten Fahrzeugstruktur durch die Abstrahierung der Sichtbedingungen an der B-Säule auf die Sichtparameter Sicht- und Verdeckungswinkel reduziert und damit weitestgehend von anderen konstruktiv-geometrischen Sichteinflussfaktoren isoliert wird, können die ursprünglichen Hypothesen über die Zusammenhänge der Sichtbeurteilung mit den statistischen Korrelationen verifiziert werden bzw. geben diese den statistischen Zusammenhänge Ihre Kausalität.

Diskussion sekundärer Einflussgrößen auf die Sichtbeurteilung an der B-Säule

Grundsätzlich ist die Beurteilung der Sichtbehinderung neben den rein geometrischen Parametern - also der tatsächlichen Sichtverdeckung – noch von anderen Einflussgrößen abhängig, die im Rahmen der Versuche zumindest weitestgehend konstant zu halten versucht wurden. So spielt wie oben angedeutet die Beurteilungssituation eine wesentliche Rolle, weil sie neben dem *geometrischen* (Wo ist die zu erfassende Information im Fahrzeugumfeld lokalisiert?) auch den *zeitlichen* Rahmen zur Informationsaufnahme limitiert. Je kürzer diese Zeitspanne ist und je stärker die Information von der B-Säule verdeckt wird, desto schlechter wird der Fahrer seine Beurteilung treffen.

Hierbei wird ein weiterer Einflussparameter offenbar: Je nach Erfordernis der Situation, Geometrie der Sichtverdeckung und der Mobilität des Fahrers kann dieser zu Kompensationsbewegungen in unterschiedlichem Umfang veranlasst werden, die die Beurteilung ebenfalls beeinflussen können.

Um den praktischen Nutzen der Untersuchung zu erhöhen sowie die Beurteilungen und die statistisch überprüften Hypothesen zu plausibilisieren wird im Rahmen der Probandenbefragung zusätzlich die Art der Sichtbeeinträchtigung erhoben. Dies zeigt einerseits den expliziten konstruktiven Optimierungsbedarf an der B-Säule auf, gibt andererseits aber auch Aufschluss über die Güte der grundlegenden Annahme, die Sichtbedingungen auf die beiden Sichtparameter *Sichtwinkel* und *Verdeckungswinkel* abstrahieren zu können.

1. Identifikation besonders problematischer Verkehrssituationen in Verbindung mit Sichtbehinderung durch die fahrerseitige B-Säule:

Die Probanden können nach jeder dynamischen Bewertungsfahrt die subjektiv am sicherheitskritischsten empfundene Fahrsituation der Versuchsstrecke benennen. Wie Abbildung 5.16 zeigt, ist der „*schnelle Rechtsabbieger*“ die Situation, die das höchste subjektiv empfundene Sicherheitsrisiko beinhaltet. Das erscheint plausibel, da der Fahrer in dieser Situation wegen der zeitlichen Enge die Verdeckung durch entsprechende Ausgleichsbewegungen nur (noch) eingeschränkt kompensieren kann. Andere Situationen können evtl. zeitlich etwas weitläufiger geplant werden und somit könnten notwendige Kompensationsbewegungen weniger störend auffallen. Die hohe absolute Anzahl an Nennungen für die 23° Einstellung für diese Situation rührt daher, dass alle 30 Probanden diese Einstellung dynamisch erfahren haben. In der prozentualen Aufteilung ist der 23°-Winkel diesbzgl. unauffällig.

Das in Abbildung 5.16 oben rechts gezeigte Ranking der Nennungen je Situation kann zudem als Gestaltungsempfehlung für Versuche zur Beurteilung der Sichtverhältnisse an der B-Säule bzgl. der Situationsauswahl betrachtet werden.

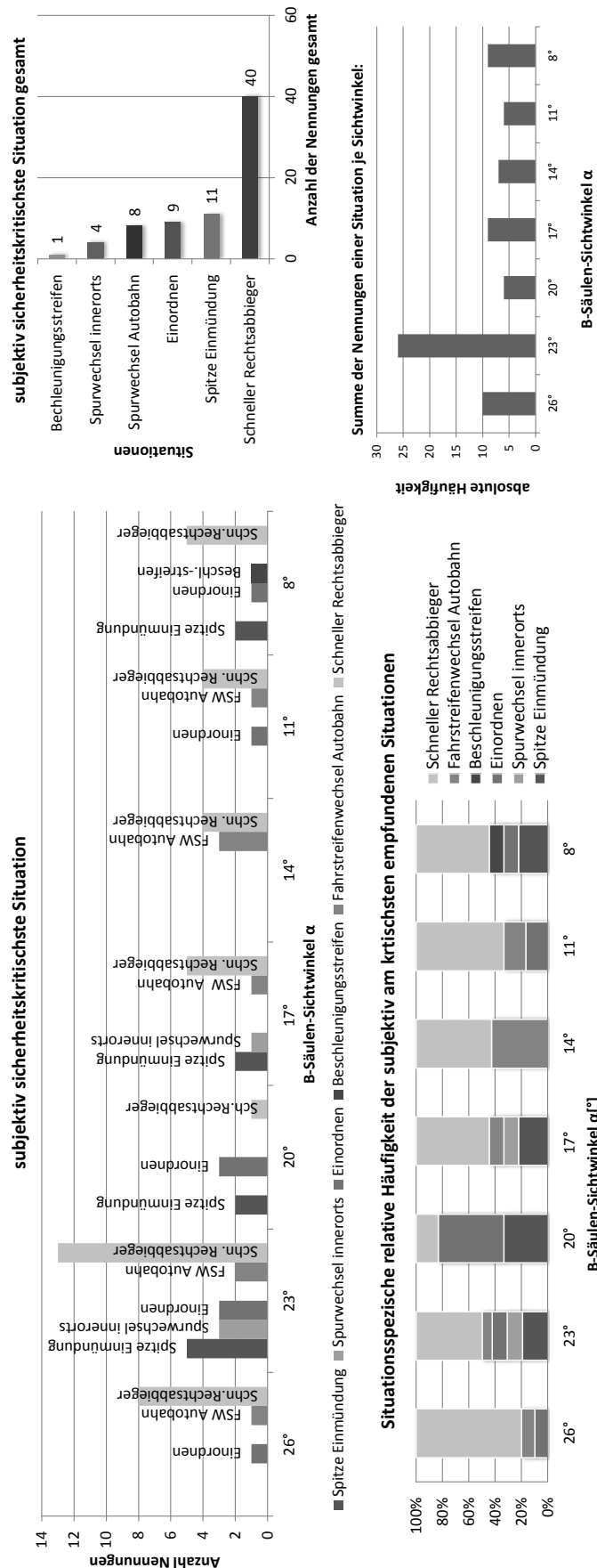


Abbildung 5.16: Häufigkeiten der Nennungen der am sicherheitskritischsten empfundenen Verkehrssituationen in Abhängigkeit des Sichtwinkels (links) und insgesamt (rechts).

2. Art der Sichtbehinderung durch die B-Säule

Die Analyse der Abfrage, was den Fahrer in den Beurteilungssituationen an der jeweiligen Säulenkonfiguration gestört hat ist in Abbildung 5.17 dargestellt. Es fällt auf, dass die Konstanthaltung des Verdeckungswinkels, die bei zunehmendem Sichtwinkel die *absolute* Verbreiterung der Säule bedingt, von den Probanden als solche wahrgenommen werden kann. Die Nennungen für „zu breit“ überwiegen eindeutig bei den beiden großen Sichtwinkeln. Umgekehrt scheint bei den kleinen Sichtwinkeln der absolute Abstand der Säule zum Fahrerkopf eine wichtige Rolle zu spielen, ungeachtet der Konstanthaltung des Verdeckungswinkels. Je kleiner der Sichtwinkel ist, desto weiter nach vorne und desto näher rückt die Säulenkontur an den Fahrerkopf.

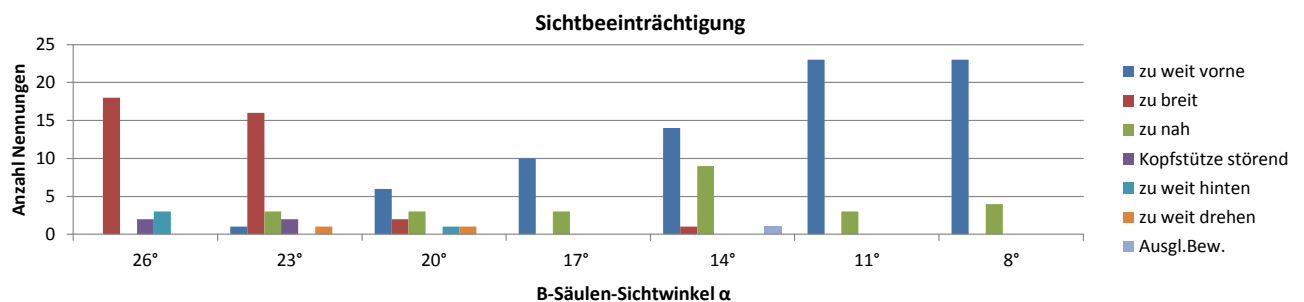


Abbildung 5.17: Häufigkeit der Nennungen von qualitativen Sichtbeeinträchtigungen je Sichtwinkel.

Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass die anfängliche Annahme, die Bewertung sei unabhängig von der absoluten Dimension der Säulen, nicht uneingeschränkt zutreffend ist. Dafür spricht, dass bei Konstanthaltung des Verdeckungswinkels die Säule mit großem Sichtwinkel aufgrund ihrer nötigen, größeren Abmessungen i.V. zur Säule mit kleinem Sichtwinkel eine viel größere Kompensationsbewegung erzwingt. Umgekehrt kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass Säulen mit kleinen absoluten Abmessungen bei weiterhin konstantem Verdeckungswinkel insgesamt besser beurteilt werden, weil diese dann zwar absolut kleiner sind und evtl. Kompensationsbewegungen leichter fallen, dafür aber durch Ihre Nähe zum Fahrerkopf für eine schlechte Beurteilung sorgen könnten. Letztlich kann die Frage, ob sich die beiden beschriebenen Effekte auf die Beurteilung einseitig auswirken oder ausgleichen oder ob die anfängliche Annahme wie oben beschrieben tatsächlich nicht statthaft ist, nicht durch die vorliegende Datenbasis geklärt werden. Hierzu müssten die Effekte selbst in (weiteren) Parametervariationen und systematischen Vergleichen untersucht werden.

3. Einfluss von Mobilität & Kompensationsbewegung auf die Beurteilung

Die Ermittlung der Mobilität der Fahrer geschieht einerseits anhand der Eigenbewertung der Probanden in den Kategorien „agil“, „mittel“, „eingeschränkt“ sowie anhand einer Onboard-Kamera und einer anschließenden Bewertung durch den Versuchsbetreuer (Abbildung 5.18).



Abbildung 5.18: Kamerabasierte Fahrerbeobachtung zur Fremdbewertung der Mobilität/Umfang von Ausgleichsbewegungen; Gegenüberstellung Selbsteinschätzung / Fremdbewertung.

Interessant ist hier ein möglicher Zusammenhang a) zwischen selbsteingeschätzter Mobilität und Bewertung der Sicht. Ein Fahrer, der sich selbst als „agil“ bezeichnet, wird die Notwendigkeit von Kompensationsbewegungen möglicherweise eher tolerieren und entsprechend bessere Bewertungen vergeben. Der Vergleich der Mittelwerte der Sichtwinkelbewertungen in Abbildung 5.19 für die beiden Gruppen, die sich als agil bzw. mittelmäßig mobil bezeichnen bestätigt die Vermutung tendenziell. Auf eine statistische Überprüfung im Hinblick auf eine allgemeingültige Aussage wird hier u.a. aufgrund der kleinen Teilkollektive verzichtet.

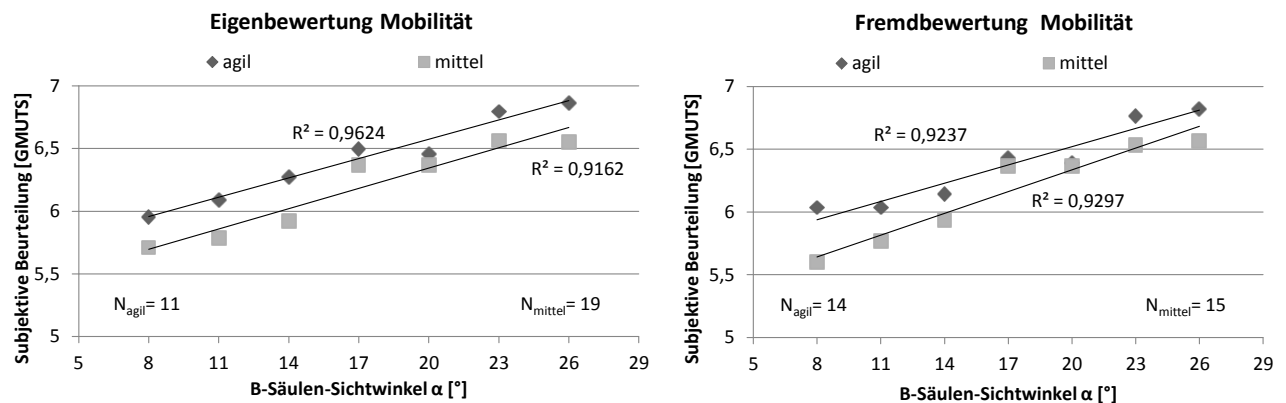


Abbildung 5.19: Mittelwerte der Sichtbewertung der B-Säulen-Sichtwinkel in Abhängigkeit der Mobilität des Fahrers. Links: kategorisiert nach Eigenbewertung der Fahrer vor den Versuchen; Rechts: fremdbewertete Mobilität mittels beobachteter Kompensationsbewegung.)

Ein zweiter Aspekt b) ist die tatsächlich beobachtete Mobilität und ein möglicher Zusammenhang zur Sicht-Beurteilung. Fahrer, die in großem Umfang zu Kompensationsbewegungen gezwungen werden, könnten dies in Form schlechterer Beurteilungen negativ vermerken. Hier zeigt der Vergleich der tatsächlich agilen – Kompensationsbewegungen ausführenden – Fahrern mit den mittelmäßig mobilen (Abbildung 5.19, rechts), dass sich die Vermutung tendenziell nicht bestätigt. Der agile Fahrer bewertet die gleiche Sichtbeeinträchtigung offensichtlich besser bzw. kann sie sich durch die Kompensationsbewegung evtl. effektiv verbessern.

Besonders interessant wären jene Probanden, die sich selbst nicht als „agil“ bezeichnen, aber fremdbewertet als „agil“ eingruppiert werden, da diese durch die Sichtverdeckung zu Handlungen entgegen ihrer Gewohnheiten bzw. Erwartungen gezwungen werden. Jedoch ist für eine sinnvolle Aussage die sich ergebende Schnittmenge mit gerade vier Probanden zu klein.

Da die genannten Aspekte nicht zentraler Teil der Untersuchung sind, wird auf eine Säulen-Sichtwinkelspezifische Auswertung der beobachteten Mobilität verzichtet und stattdessen eine pauschale Kategorisierung der Probandenmobilität herangezogen. Dies muss bzgl. der Allgemeingültigkeit der abgeleiteten Aussagen berücksichtigt werden.

4. Beurteilungsumgebung: dynamische vs. statische Beurteilung

Wie erwähnt, wurde zur validen Aggregation der Beurteilungsteildatenmengen aus statischer und dynamischer Untersuchung das Probandenkollektiv auf Grundlage der Beurteilungsunterschiede für den vollständig vergleichbaren Fall des 23°-Sichtwinkels reduziert. Dennoch ist eine weitere Betrachtung der Bewertungsunterschiede dieser beiden Teilmengen mit dem ursprünglichen Kollektiv interessant um typische Unterschiede zu identifizieren und ggf. Rückschlüsse für die Übertragbarkeit rein statisch durchgeführter Beurteilungsreihen in der Fahrzeugentwicklung auf das dynamisch bewegte Serienfahrzeug zu erhalten.

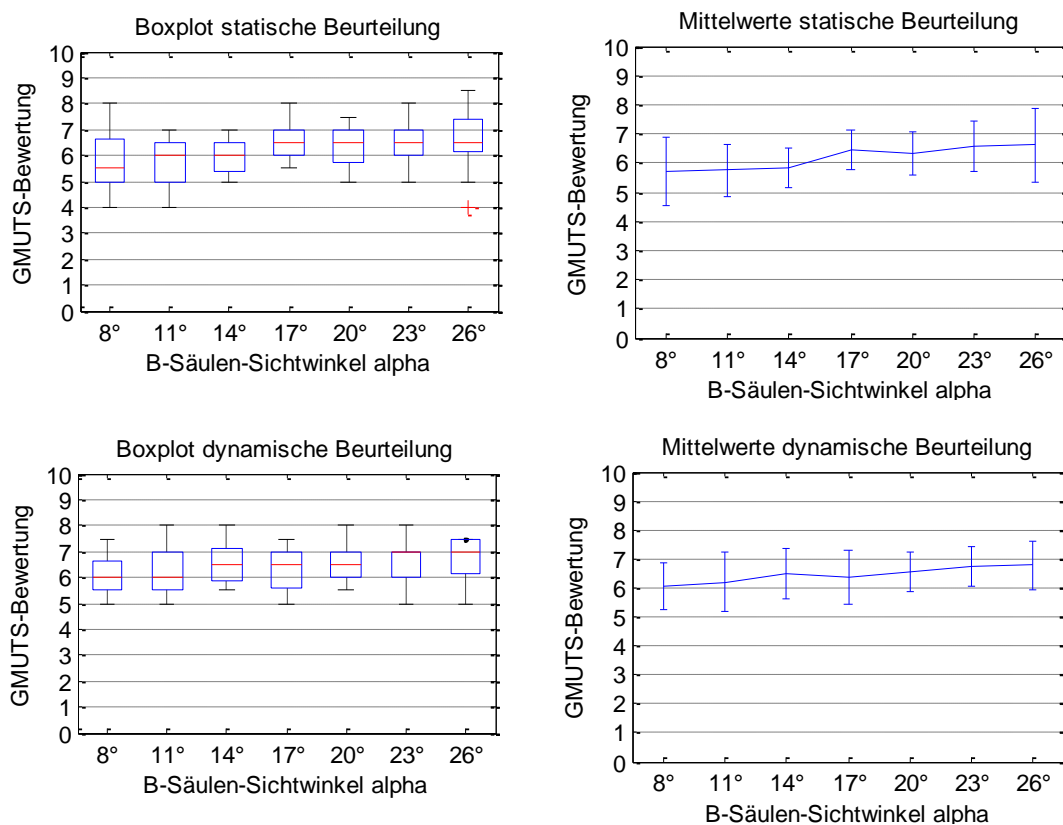


Abbildung 5.20: Gegenüberstellung stat. & dyn. Beurteilungen (Boxplot, MW \pm 1fache SD).

Der Vergleich der Bloxplots und Mittelwertverteilungen beider Teilmengen ist in Abbildung 5.20 dargestellt. Ungeachtet unterschiedlicher Stichprobenumfänge (dynamisch: ~10 Bewertungen je Winkel, statisch: ~20) fällt auf, dass die Sichtwinkel dynamisch generell besser beurteilt werden. D.h. die statischen Beurteilungen werden etwas kritischer – evtl. konservativer – getätigt. Für rein statische Untersuchungen der B-Säulen-Sicht bedeutet dies, dass deren Ergebnisse tendenziell auf der sicheren Seite bzgl. späterer Beurteilung im dynamischen Fahrbetrieb liegen.

5.5. Ableitung einer Seitensicht-Bewertungsmethode

Wie oben ausgeführt, hat sich ein B-Säulen Sichtwinkel von 17° als Mindestmaß für eine akzeptable Seitensicht gezeigt. Die angestrebte Übertragung dieses Ergebnisses aus dem Versuch auf ein Fahrzeug mit statisch positionierter B-Säule und weiterhin streuenden Augpunktpositionen wirft die Frage nach einem geeigneten Beurteilungsschema auf. Grundsätzlich gibt es hierzu zwei Möglichkeiten:

1. Der resultierende Winkel zwischen Augpunkt und B-Säulenvorderkante (Sichtwinkel) wird ermittelt und gegen den Zielwert 17° verglichen. Diese Methode wäre aber sehr unsensibel und würde den Wertebereich möglicher Beurteilungen lediglich in einen guten (Sichtbedarfserfüllungsgrad 100%) und einen schlechten Bereich (Sichtbedarfserfüllungsgrad 0%) unterscheiden und würde zudem der Erkenntnis aus der Verifizierung von Hypothese 1 nicht gerecht. Abhilfe könnte die Orientierung des gemessenen Winkel an der Regressionsgeraden der Beurteilungsverteilung schaffen. Unklar wäre bei dieser Vorgehensweise jedoch, welchem Teilkollektiv der späteren Nutzergruppe damit dann akzeptable Sichtbedingungen geboten würden, was in der Orientierung am Augpunkt („GCIE“-Vergleichsauspunkt, 635mm senkrecht oberhalb des SgRP) begründet liegt.

Aus dieser Überlegung heraus ergibt sich die zweite grundsätzliche Möglichkeit:

2. Anstatt den resultierenden Sichtwinkel bezüglich eines festen Augpunktes zu bestimmen, erscheint es eleganter, den als akzeptabel geltenden Sichtwinkel an der B-Säule anzulegen und eine Aussage darüber anzustreben, welches Perzentil des erwarteten Nutzerkollektivs mindestens 17° Sichtwinkel erwarten darf. Würde bspw. der Sichtwinkel mit 17° gerade der Tangente zwischen B-Säule und der 95.-Perzentil-Augellipse nach SAE entsprechen, wäre die Aussage, dass 95% des erwarteten Nutzerkollektivs (nach SAE) akzeptable Seitensicht vorfinden würden. Leider gibt es neben der 95th-Percentile-SAE-Eyellipse aber nur noch *eine* weitere, die sog. 99th-Percentile-SAE-Eyellipse, sodass eine weitere Differenzierung vor allem nach unten - für z.B. 90%, 85%, 50% etc. - des Nutzerkollektivs zunächst nicht geleistet werden kann. Ein weiterer Nachteil der Anwendung der SAE-Augellipse ist die Diskrepanz zwischen SAE-Augellipse und tatsächlich gemessenen Augpunktverteilungen. So hat auch der oben beschriebene Versuch gezeigt, dass die Augpunktverteilung eines realen Kollektivs oftmals weiter oben und hinten in Fahrzeug lokalisiert ist als die fahrzeugspezifische SAE-Augellipse (Abbildung 5.21). Daher erscheint es sinnvoller eine RAMSIS-basierte Augpunktverteilung im zu beurteilenden Fahrzeug zu erzeugen und basierend darauf abzuschätzen, ab welchem Perzentil Sichtwinkel kleiner bzw. größer 17° zu erwarten sind. Der Perzentilwert kann dann gleichzeitig als Erfüllungsgrad des Seitensichtbedarfs herangezogen werden (Abbildung 5.22).

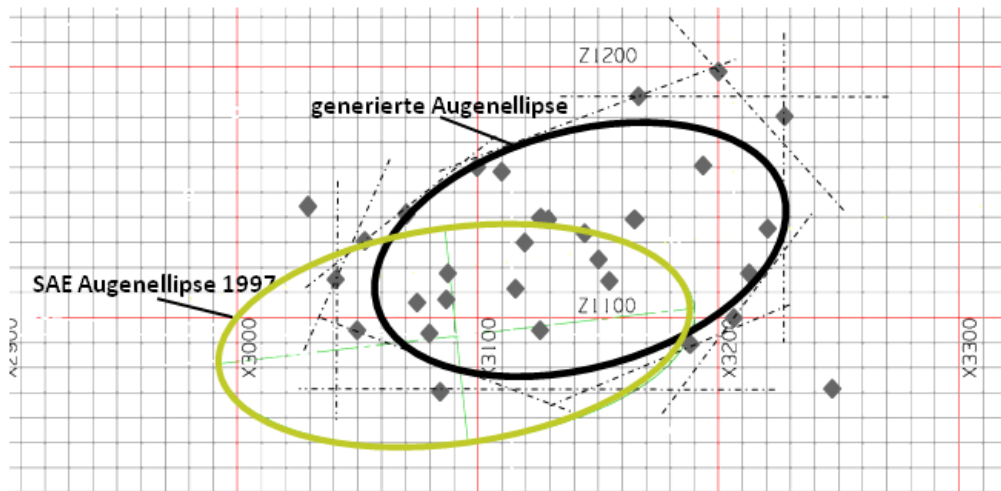


Abbildung 5.21: Vergleich der Augenellipsen nach SAE-Konstruktionsvorschrift für den verwendeten Versuchsträger und der tatsächlichen Augenellipse, abgeleitet aus der gemessenen Augpunktverteilung des Probandenkollektivs

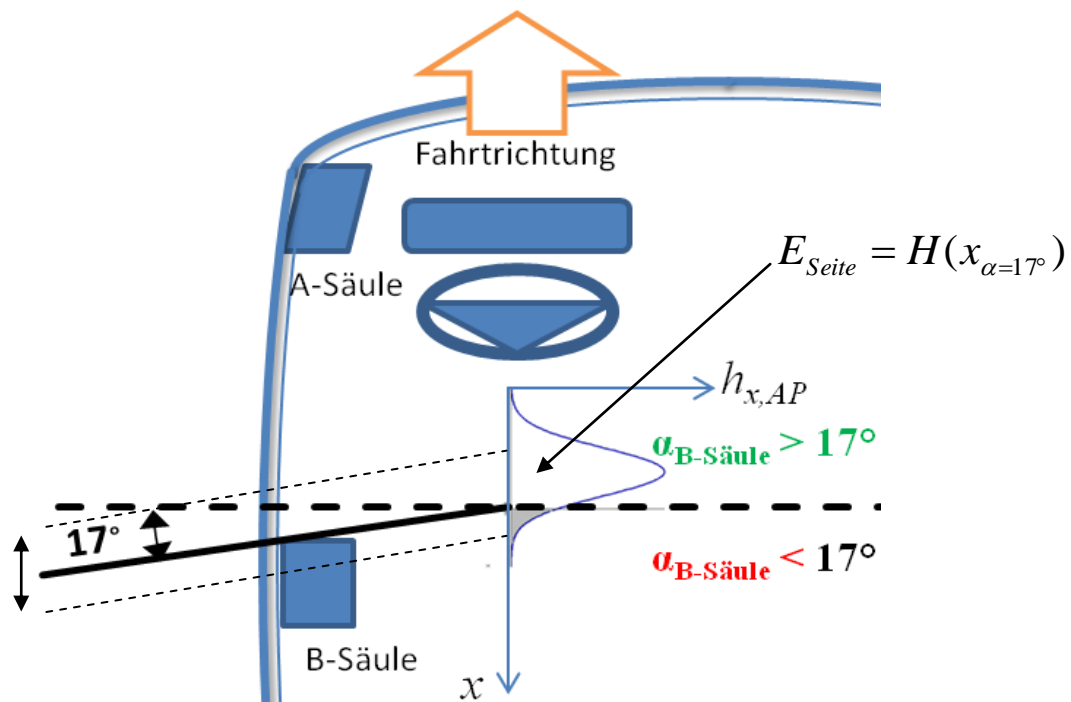


Abbildung 5.22: Methode zur Bestimmung des Erfüllungsgrades des Seitensichtbedarfs. Die B-Säulensichtwinkel-Tangente für $\alpha=17^\circ$ teilt, je nach B-Säulenposition, die Häufigkeitsverteilung $h(x)$ der erwarteten Fahreraugpunkt-X-Positionen in unterschiedlich große Teilgruppen ($\alpha < 17^\circ$, $\alpha > 17^\circ$). Der Erfüllungsgrad $E_{\text{Seite}} = H(x_{\alpha=17^\circ})$ ergibt sich somit aus der kum. Häufigkeit $H(x)$ der Augpunkt-X-Position für B-Säulenpositionswinkel $\alpha=17^\circ$.

6. Bestimmung des Hecksichtbedarfs

Während die Beurteilungsmethoden für die Front- und Seitensichtbereiche in dieser Arbeit auf detaillierten, eigens durchgeführten Versuchen basieren, werden für den Hecksichtbereich Kriterien generiert, die Ergebnisse von in der Literatur beschriebenen Untersuchungen aufgreifen und mit weiterführenden theoretischen Betrachtungen ergänzen und zum *Hecksichtbedarf* komplettiert werden. Dabei wird zweigeteilt vorgegangen. Einerseits wird die Verteilung fahrzeugführungsrelevanter Informationsträger (potentieller Sichtziele der indirekten Spiegel-Sicht) im Fernbereich hinter dem Fahrzeug bei Geradeausfahrt berücksichtigt, andererseits aber auch die Erreichbarkeit rückwärtiger Bodenflächenbereiche durch ein rückwärtsfahrendes Fahrzeug als Bewertungsmaßstab herangezogen.

6.1. Systematisierung der Hecksichtbereiche

Grundsätzlich lässt sich Hecksicht in zwei Teilbereiche auftrennen. Dies erscheint sinnfällig, weil der Fahrer für die Überwachung des rückwärtigen Verkehrsraums bzw. –geschehens grundsätzlich zwei Möglichkeiten besitzt, die u.a. Situations- und fahrerabhängig genutzt werden.

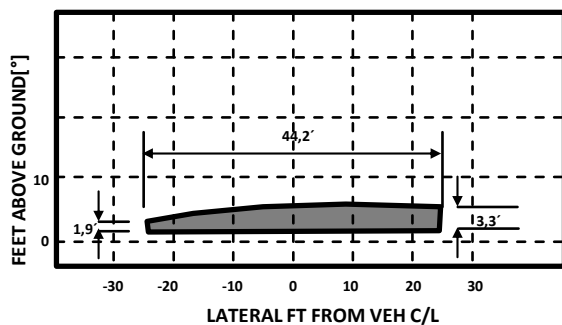
Der erste Teilbereich ist der *Fernbereich*, der die Sichtbedingungen auf den nachfolgenden Verkehr meist bei Geradeausfahrt betrifft und überwiegend mittels *indirekter* Spiegelsicht über den Innenrückspiegel überwacht wird. Der Außenspiegel wird hier nicht betrachtet, da seine Sichtbereiche bzw. -bedingungen i.d.R. nicht durch eine Wechselwirkung mit der Fahrzeugkarosseriegeometrie kompromittiert werden).

Der zweite Teilbereich ist der *Nahbereich*, der insbesondere bei Rückwärtsfahrten (Rangieren, Parkieren) von Bedeutung ist und bei dem die direkte Sicht stark an Bedeutung gewinnt. Die zunehmend schlechten direkten Sichtverhältnisse (BUBB 2007) v.a. nach hinten lassen die indirekte Sicht für den Nahbereich jedoch an Bedeutung gewinnen. Zusätzliche Systeme indirekter Sicht (Kamera / Zusatzspiegel) zur Ergänzung – oder gar zur Substitution - direkter Sicht nach hinten halten Einzug oder werden in absehbarer Zeit sogar vorgeschrieben.

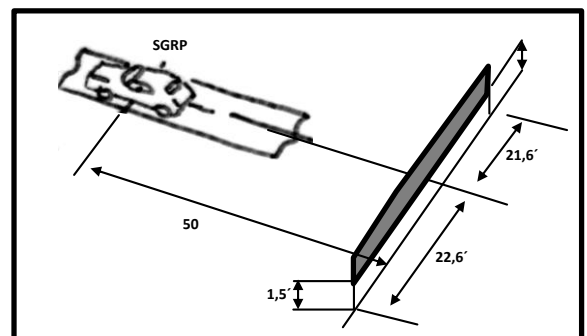
6.2. Bestimmung des Sichtbedarfs im rückwärtigen Fernbereich

Ähnlich dem Ansatz der Frontsicht wird für die Hecksicht im Fernbereich eine Beurteilungsgrundlage angestrebt, die es ermöglicht, die Verdeckung / Abschattung der Fahrzeugumgebung durch die Fahrzeugstruktur gewichtet zu quantifizieren. Konkret bedeutet dies, dass auch hier eine Informationsbasis über die Relevanz von Sichtzielen abhängig von deren Lokalisationen benötigt wird. Für die Frontsicht wird diese Informationsbasis – gemäß der hohen Relevanz des Frontsichtbereichs – anhand eigener Versuche zur Blick(dichte)verteilung in ausgewählten Situationen erhoben. Für die Hecksicht wird auf Versuche zur Verteilung von Sichtzielen des nachfolgenden Verkehrs aus vorhandenen Studien zurückgegriffen. So liefern FORBES et al. (1970) Sichtziele welche die Lokalisation von nachfolgenden Fahrzeugen beschreiben. Anhand einer photometrischen Studie im realen Verkehrsraum wurde auf einer Fahrstrecke von rund 2200 km die räumliche Verteilung der Front-

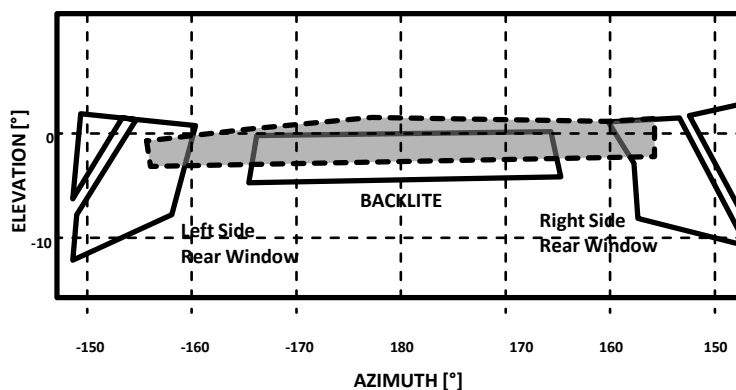
lichter nachfolgender Fahrzeuge in verschiedenen Abstandsbereichen hinter dem Ego-Fahrzeug ermittelt. So repräsentieren die von FORBES et al. (1970) aus den Daten abgeleiteten Targets (vgl. Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2) jene Bereiche, in denen mindestens eines der beiden Frontlichter der nachfolgenden Fahrzeuge in den Abstandsbereichen von 50-100 und 100 bis 200ft hinter der Fahrer-H-Punkt liegt. Die Targets stellen somit Bereiche dar, die mindestens eingesehen werden können müssten, um nachfolgende Fahrzeuge auch bei Dunkelheit ausreichend erkennen zu können. Nach FORBES et al. (1970) wurde dem Einfluss topographischer und verkehrstechnische Merkmale der Versuchsumgebung auf das spätere Target durch eine bewusste Wahl der Versuchsstrecke (Integration kurvenreicher Bergstraßen etc.) entsprochen.



Target Width and Height in Feet

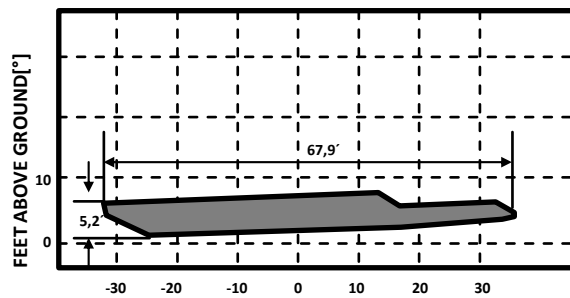


Target Distance from Driver's Seating Reference Point (SRP) in Feet and Target Location

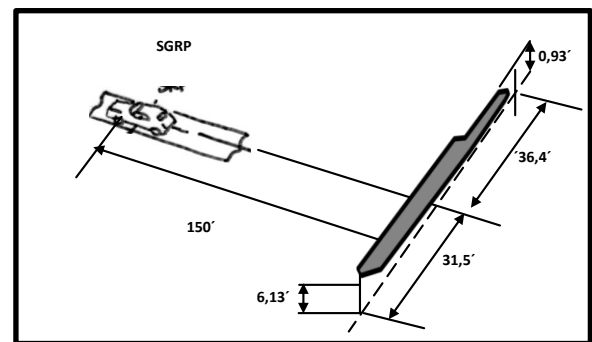


Appearance of Target From a Typical Vehicle Through a Mirror of Infinite Size

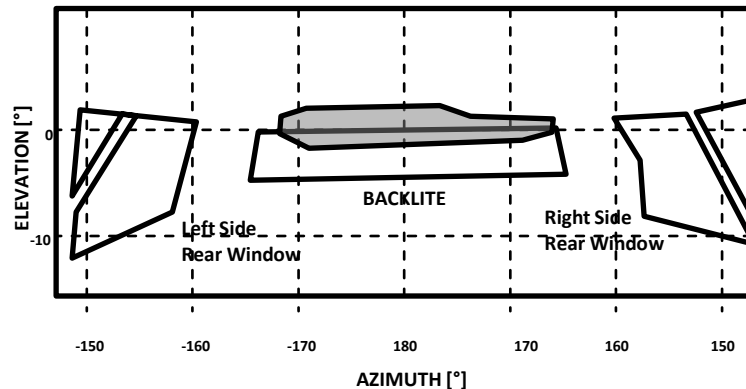
Abbildung 6.1: erstes Hecksichtziel "Rear Approaching Vehicles Target" für den Abstandsbereich 50 - 100ft (15-30m) hinter dem Fahrer-H-Punkt (gemäß: FORBES et al. 1970, S.75)



Target Width and Height in Feet



Target Distance from Driver's Seating Reference Point (SRP) in Feet and Target Location



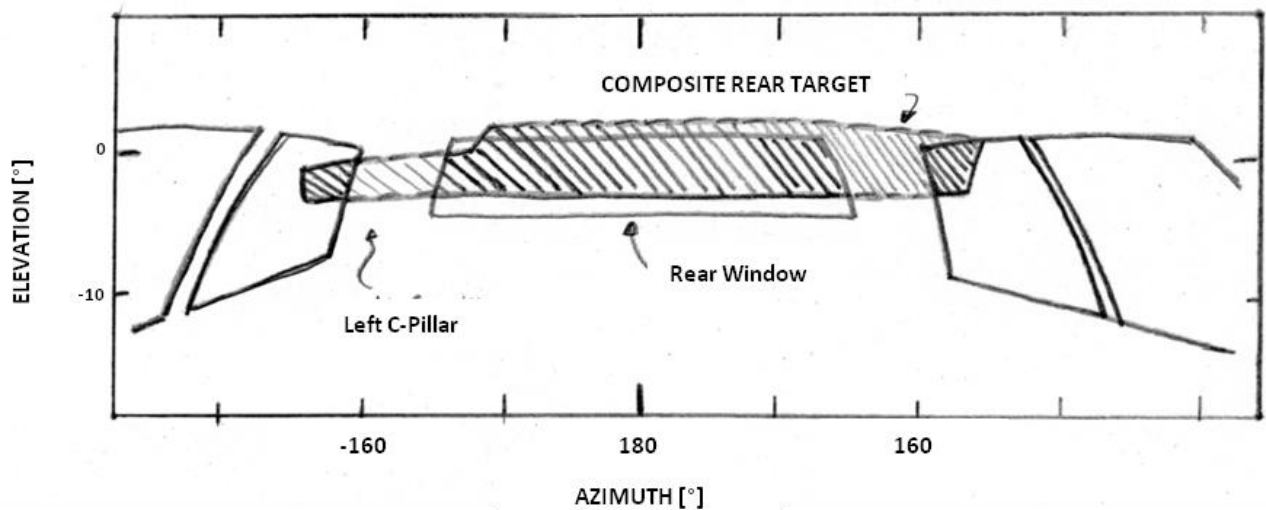
Appearance of Target From a Typical Vehicle Through a Mirror of Infinite Size

Abbildung 6.2: Zweites Sichtziel "Rear Approaching Vehicles Target" für den Abstandsbereich von 100-200ft (30-60m) hinter dem Fahrer-H-Punkt in absoluten Koordinaten und in Elevations- und Azimuthwinkel (gemäß: FORBES et al. 1970)

Die Targets liegen sowohl in absoluten, metrischen Abmessungen vor, die es erlauben ein physikalisches Modell in einem bestimmten Abstand hinter ein reales Fahrzeug zu platzieren und den Abschattungsgrad der Karosserie auf dem Target zu bestimmen. Gleichzeitig sind sie auch in Azimut- und Elevationswinkel aufgeschlüsselt vorhanden, was die Anwendung in einer CAD-Umgebung erlaubt und somit als Beurteilungsgrundlage für eine Schattenwurfmethode ähnlich der Frontsicht verwendbar macht (vgl. Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2 jeweils links unten). Es lässt sich also– wie bereits für die Frontsicht beschrieben – eine CAD-basierte Überlagerung der Sichtziele mit der Fahrzeugstruktur umsetzen und ein prozentualer Abschattungswert bestimmen.

Da das Target für den längeren Abstandsbereich (Abbildung 6.2) nahezu vollständig innerhalb des Targets für den kürzeren Bereich (Abbildung 6.1) liegt, vereinigen FORBES et al. die beiden Ziele zu einem gemeinsamen, sog. „Composite Rear Target“ (Abbildung 6.3).

SUMMARY RESULTS
REAR FIELD OF VIEW - VISION TROUGH MIRRORS



Rear Field of View Targets As Seen By a Driver Seated in a Current Model Passenger Car. This View Represents What Would be Seen Through a Rear View Mirror of Infinite Size.

Abbildung 6.3: Resultierendes "Composite Rear Target" (sinngemäß nach FORBES et al. 1970)

Dieses Target ist nur für die Beurteilung der indirekten Sicht nach hinten über den Innenrückspiegel, nicht jedoch für die direkte Sicht zu verwenden. Dies rührt daher, dass die zur Target-Entwicklung betrachteten Situationen die Beobachtung des nachfolgenden Verkehrs über die Rückspiegel des Fahrzeugs bedingen und demnach auch die Datenerhebung aus einem Blickpunkt heraus geschah, der in etwa dem „Spiegelaugpunkt“ des Fahrers entspricht. Daher ist für eine Beurteilung der Hecksichtbedingungen der Projektionsursprung für die Überlagerung der Sichtziele mit der verdeckenden Fahrzeugstruktur nicht in den tatsächlichen Augpunkt des Fahrers - oder gar in einen für eine Um-blickhaltung gültigen (vgl. HUDELMAIER 2003) - zu legen.

Für eine Abschätzung des Erkenntnisgewinns bei Anwendung dieses Targets zur Sichtbeurteilung ist der Vergleich dieses Targets mit jenem Sichtbereich interessant, der seitens der ECE R46 für die indirekte Hecksicht spezifiziert wird. Würde das Composite Rear Target beispielsweise vollständig von den Sichtanforderungen der ECE R46 umschlossen, so wäre dessen Integration in einen Sichtbeurteilungsprozess ohne zusätzlichen Nutzen, weil die betroffenen Bereich per Gesetz bereits zu einem hohen, definierten Prozentsatz freizuhalten sind. Der Vergleich des Rear Targets mit dem Kriterium der ECE R46, das als 20m breite Bodenfläche 60m hinter dem Fahrer-H-Punkt in den Horizont verläuft, erfolgt anhand einer Projektion der ECE-Bodenfläche sowie des Targets auf eine gemeinsame Y-Z-Ebene 15m hinter dem Fahrer-H-Punkt im Fahrzeugkoordinatensystem unter Annahme eines typischen Augpunkts (AP) eines Produktionsfahrzeugs (Opel Astra H) als Projektionszentrum (Abbildung 6.4).

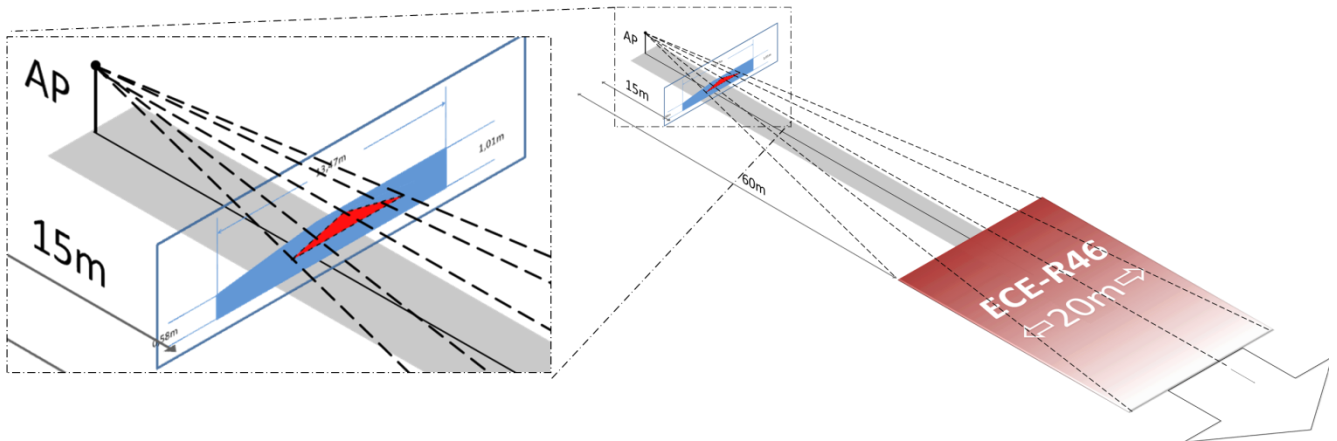


Abbildung 6.4: Prinzip der überlagerten Projektion der ECE R 46 Bodenfläche (rot) mit dem Composite Rear Target (blau) auf eine Ebene 15m hinter dem H-Punkt (AP: Augpunkt).

Wie Abbildung 6.5 zeigt, umschließt das *Composite Rear Target* die projizierte Kriterienfläche der ECE R46 vollständig und spezifiziert zudem einen weitaus größeren Bereich. Demnach stellt das Composite Rear Targets eine Beurteilungsbasis dar, die gegenüber den gesetzlichen Anforderungen der Hecksicht einen Erkenntnisgewinn ermöglicht und (daher) für verschiedene Fahrzeuge eine nachvollziehbare Differenzierung der Hecksichtbedingungen messbar macht.

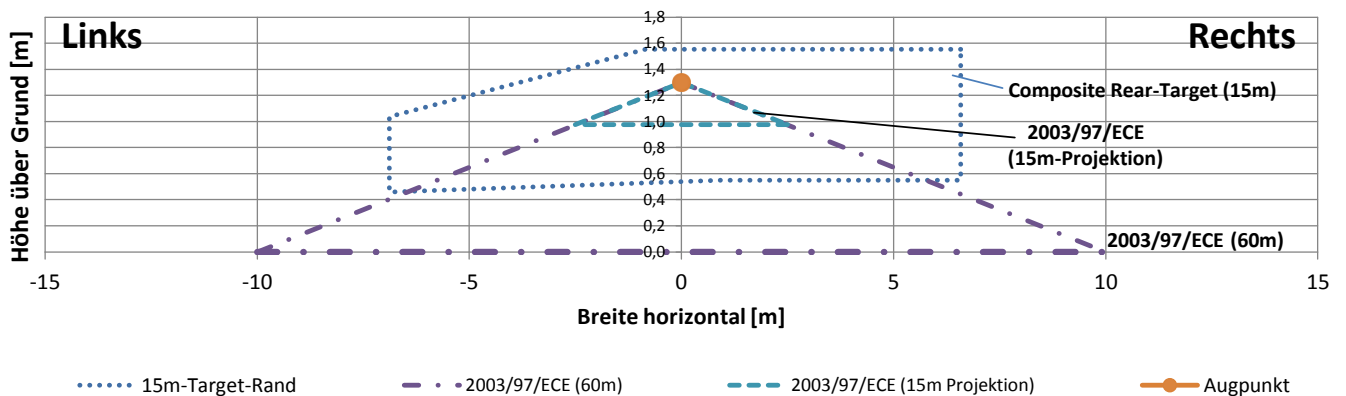


Abbildung 6.5: MS-Excel-basierte Überlagerung des Composite-Rear Target mit den Anforderungen der ECE R46. Absolute Abmessungen der Targets auf der 15m-Ebene („15m“) bzw. der ECE-Fläche auf einer 60m-Ebene („60m“)

6.3. Bestimmung des Sichtbedarfs im rückwärtigen Nahbereich

Wie oben beschrieben liegt es für eine Beurteilung der fahrzeugnahen Hecksichtbedingungen nahe, die Sichtbarkeit der Bodenfläche oder die Sichtbarkeit von Testkörpern, an definierten Stellen dieser Bodenfläche zu überprüfen und als Bewertungsmaßstab heranzuziehen. Dabei ist die Messung der Sichtbarkeit aus einem Augpunkt heraus selbst relativ trivial. Die wesentlich wichtigere Aufgabe besteht in der Interpretation des Ergebnisses. Es erscheint einsichtig, dass eine Unterteilung der Bodenfläche hinter dem Fahrzeug in verschiedene Zonen unabdingbar ist, um ein differenziertes Ergebnis zu erhalten. Das Einteilungskriterium wiederum sollte sich belastbar und nachvollziehbar gestalten. Die NHTSA hat hierfür im Zuge der Gesetzesnovelle zur FMVSS 111 Simulationen nach dem Monte-Carlo-Verfahren durchgeführt um für einzelne Teilbereiche der Fläche hinter dem Fahrzeug die Wahrscheinlichkeit eines BOA zu berechnen (vgl. Kapitel 2.3.1) wobei das Bewegungsverhalten des Fußgängers sowie des Fahrzeuges selbst berücksichtigt wurde.

Da jedoch die Häufigkeit dieses Unfalltyps insbesondere mit Beteiligung von Kleinkindern sehr hoch ist, ist die Verwendung eines Prüfzylinders und die Berücksichtigung des Bewegungsverhaltens des Fußgängers fragwürdig. Einerseits stellt die Verwendung einer bestimmten Prüfzylinderhöhe automatisch eine Limitierung des kleinsten repräsentierten Körpergrößenperzentils da, was einer Selektion der berücksichtigten Alters- und Körpergrößenklassen von Kleinkindern entspricht. Andererseits sollte das Bewegungsverhalten eines Kleinkindes nicht zu stark in die Betrachtung zur Ableitung von Sichtzielen einbezogen werden, da ein Unfallvermeidungspotential durch zielgerichtetes Handeln eines erwachsenen Fußgängers in einer Konfliktsituation nicht auf ein Kleinkind übertragen werden sollte.

Aus diesen Gründen wird im Folgenden ein Verfahren entwickelt und vorgeschlagen, das sich keiner Prüfkörper bedient, sondern die Verdeckung der Bodenfläche selbst aufgreift und keine bewegungsbahnenbasierte Wahrscheinlichkeitsbetrachtung zur Gewichtung beinhaltet. Vielmehr spielt die Erreichbarkeit rückwärtiger Bodenflächenbereiche durch das Fahrzeug die wesentliche Rolle. Anstelle einer geraden, rückwärtigen Fahrt und einer Bewegung des Unfallgegners wird das maximale Bewegungsvermögen des zu bewertenden Fahrzeugs in Abhängigkeit seiner Außenabmessungen und fahrwerkskinematischer Parameter in die Betrachtung integriert.

Die zentrale Annahme ist hierbei, dass die Sichtbedingungen bzgl. Rückfahrmanöver dann umso besser sind, je höher der Anteil der sichtbaren Fläche an der nachfolgend überfahrenen Fläche ist. So richtet sich in diesem Fall nicht allein die sichtbare Fläche nach den spezifischen Sichtbedingungen des jeweiligen Fahrzeugs, sondern ebenso auch der erreichbare Maximal-Wert der einzusehenden Fläche (Abbildung 6.6) nach der Manövrierfähigkeit des jeweiligen Fahrzeugs. Dieser ist neben den Außenabmessungen des Fahrzeugs vor allem von dessen Bewegungsvermögen - z.B. charakterisiert durch den Wendekreis - abhängig.

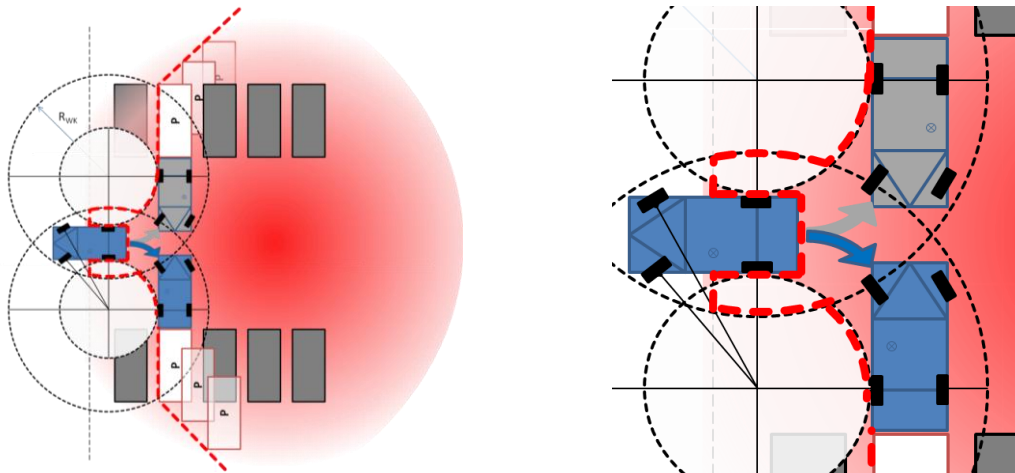


Abbildung 6.6: Prinzipskizze der maximalen, vom Fahrzeug überstreichbaren rückwärtigen Bodenfläche. Abschätzung für Quereinparkmanöver. Randbedingungen: Seitenkraftfreie Kurvenfahrt ("Ackermannbedingung") bei maximalem Radlenkwinkel. Flächengeometrie abhängig von den Fahrzeugparametern (Länge, Breite, Radstand, Karosserieüberhänge, minimaler Wendekreis bzw. maximaler Radlenkwinkel).

Wie Abbildung 6.6 zeigt, hängt die geometrische Ausdehnung der erreichbaren Bodenfläche vom Manöver sowie den Fahrzeugabmessungen und Fahrwerksparametern ab. Als Auslegungsszenario dient hier ein seitliches Einparken mit konstantem Lenkwinkelschlag und einem anschließenden geraden Zurückstoßen in die Parklücke. Anzumerken ist, dass auch ein Bereich seitlich neben dem Fahrzeug einfließt, der vom ausscherenden Vorderwagen auf der von der Parklücke abgewandten Fahrzeugseite überstrichen wird. Während der minimale Wendekreis die untere Begrenzung der betrachteten Flächen vorgibt, stellt sich die Begrenzung gegenüber dem Horizont wesentlich schwieriger da. Grundsätzlich stellt sich bei der Betrachtung der Schattenwurfmethode auf eine Bodenfläche die Frage nach deren maximaler Ausprägung in den Horizont. Je größer diese ausfällt, desto unsensibler wird die Bewertung für den Nahbereich als eigentlichen Beurteilungsgegenstand da die Schatten der Struktur (v.a. der Säulen) mit zunehmendem Abstand von der Lichtquelle auf dem Boden immer größere Flächen verdecken. Damit würde jedoch das Verhältnis aus verdeckter Fläche zur Gesamtbewertungsfläche gegen das Verdeckungsverhältnis aus der 2D-Lasertheodolithmethode auf Augpunkthöhe konvergieren. Der Aufwand einer Schattenwurfmethode auf eine Bodenfläche wäre somit ohne Erkenntnisgewinn und deren Potential zur differenzierteren Betrachtung der Hecksicht nicht ausgenutzt.

Andererseits ist unklar, an welchem Manöver sich eine obere Begrenzung zu orientieren hätte bzw. welche Fahrzeugbewegung als Grenzfall zu definieren wäre. Um eine feste Abgrenzung der rückwärtig betrachteten Bodenfläche ggü. dem Horizont durch die Wahl eines bestimmten Manövers zu umgehen, wird die Bodenfläche – ähnlich dem Vergleich des Rear Composite Targets mit der ECE R46 – in eine Darstellung in Azimut- und Elevationswinkel überführt. In Abbildung 6.7 ist die zuvor in kartesischen Koordinaten (schematisch in Abbildung 6.6) dargestellte Bodenfläche anhand von Stütz-

stellen in Kugelkoordinaten transformiert dargestellt. Die Stützstellen ergeben sich unter Annahme typischer Fahrzeugabmessungen (*Länge*: 5m; *Breite*: 2m; *Augpunkthöhe*: 1,2m; *Wendekreis Wand-Wand*: 12m; *Radstand*: 4m, *v/h Überhänge*: je 1m) und dem oben beschriebenen, rückwärtigen Quereinparkmanöver.

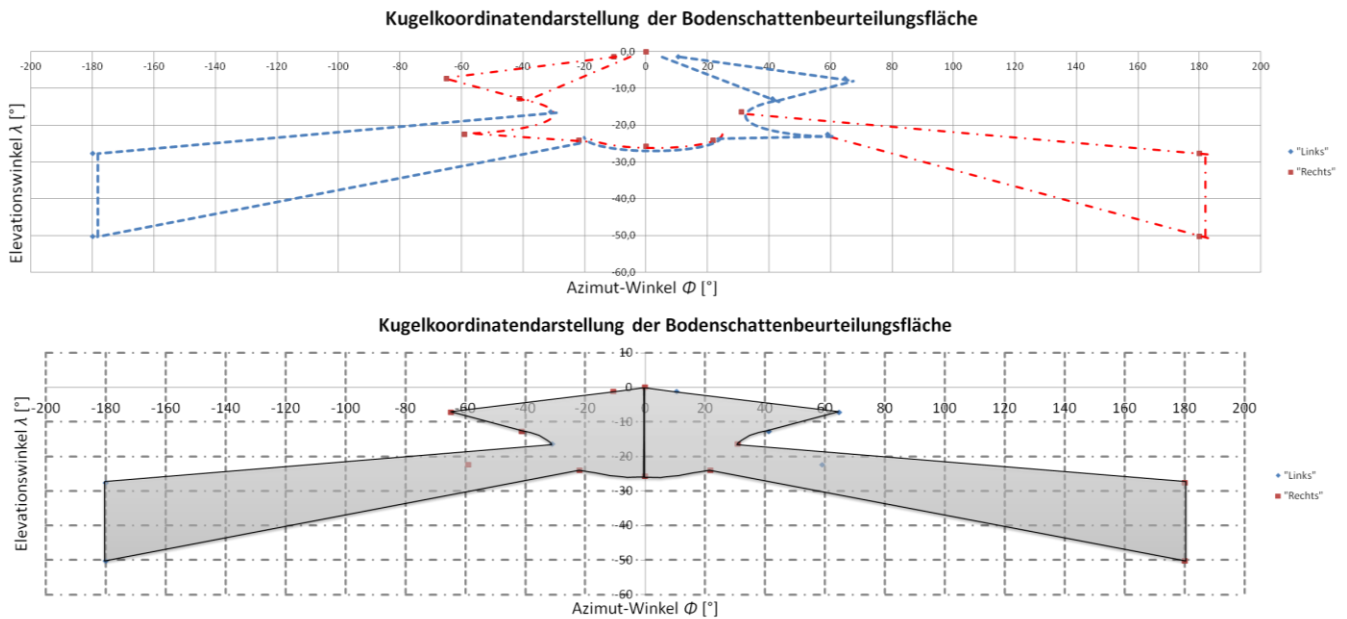


Abbildung 6.7: Darstellung der gesamten Bodenbeurteilungsfläche aus der Überlagerung der erreichbaren Bodenfläche beim rückwärtigen, seitlichen Einparken nach links bzw. nach rechts. (Der Umblickaugpunkt als Kugelkoordinatenursprung liegt in Form einer Projektion des Definitionsaugpunktes auf der Fahrzeugmittelebene).

Aufgrund der Nähe zum Fahrzeug nehmen die beiden seitlich vom Vorderwagen überstrichenen Bodenbereiche in dieser Darstellung einen großen Raumwinkelbereich ein. Würde hier analog zum Vorgehen bei der Frontsicht die prozentuale Verdeckung von Winkelbereichen das Beurteilungsergebnis generieren, so wäre die Sichtbarkeit der beiden Seitenbereiche neben dem Fahrzeug stark überrepräsentiert, während die eigentliche Sicht in den hinteren Nahbereich relativ schwach eingehen würde. Da diese Flächen erfahrungsgemäß - und wie in Abbildung 6.9 abschätzbar - in der Regel aber in keinem Fahrzeug direkt einsehbar sind, werden sie aus der Targetgeometrie gelöscht. Abbildung 6.8 zeigt das resultierende Target in Kugelkoordinatendarstellung.

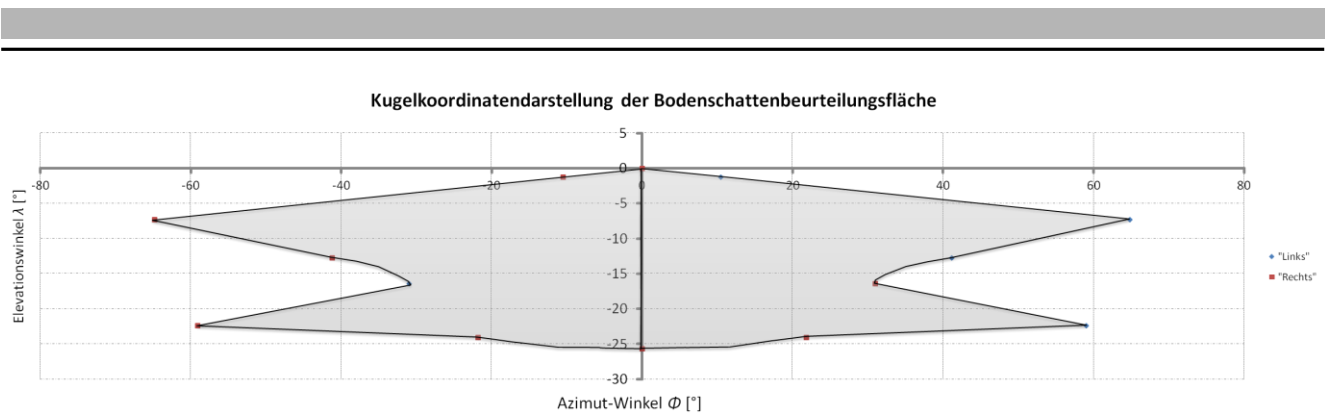


Abbildung 6.8: Darstellung der Bodenbewertungsfläche in Kugelkoordinaten zur Überlagerung der verdeckenden Fahrzeugstruktur (ohne die großen Seitenflächen, die das Fahrzeug beim Ausscheren mit der Front überstreicht)

Analog zum Vorgehen bei der Frontsicht bzw. der Bewertung des Fernbereichs der Hecksicht wird das Target mit den Begrenzungslinien der Fahrzeugstruktur bzw. den Fensteröffnungen überlagert. Sowohl für die Darstellung des Targets sowie die Überlagerung ist die Verwendung des gleichen Augpunktes (als Projektionszentrum) obligatorisch könnte bspw. in Form des von HUDELMAIER 2003 vorgeschlagenen Umblickhaltungsmodells ermittelt werden.

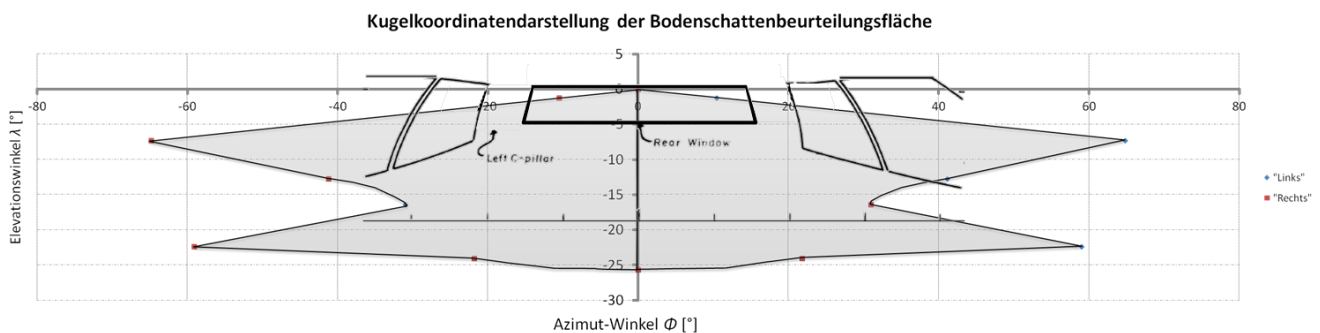


Abbildung 6.9: Darstellung einer typischen Verdeckungssituation eines beispielhaften Fahrzeugs auf dem Nahbereichs-Target.

Die exemplarische Überlagerung des Targets mit einer typischen Fahrzeugstruktur aus FORBES et al. (1970) in Abbildung 6.9 zeigt, dass das entwickelte Target grundsätzlich sensitiv für den Einfluss der hinteren und seitlichen Dachsäulen, der Fensteröffnungen (insbesondere der unteren Begrenzungskontur „Gürtellinie“) bzw. der Kofferraumklappe oder anderen Sichtbegrenzern wie Kopfstützen ist und zu deren integrativer Erfassung und Beurteilung genutzt werden kann. So würden eine niedrigere untere Fensterlinie, sowie schlankere Dachsäulengeometrien einen größeren Bereich des Targets freigeben und ein entsprechend besseres Abschattungsverhältnis ergeben

6.4. Ableitung einer Hecksicht-Beurteilungsmethode

Ähnlich wie für die Frontsicht kann die Ermittlung der Sichtverhältnisse im Heckbereich mittels eines dafür angepassten „Sicht-Igels“ („Hedgehog“) erfolgen. Sowohl für das Target zur Beurteilung des rückwärtigen Fern- wie auch für den Nahbereich kann damit die prozentuale Durchsicht bezogen auf die jeweilige Target-Ausdehnung ermittelt werden. In Abbildung 6.10 ist die Ausdehnung des resultierenden Fernbereichstargets und der Umfang der Bauteile zu erkennen, deren Einfluss auf die Sichtbedingungen mit dem Target erfasst werden können.

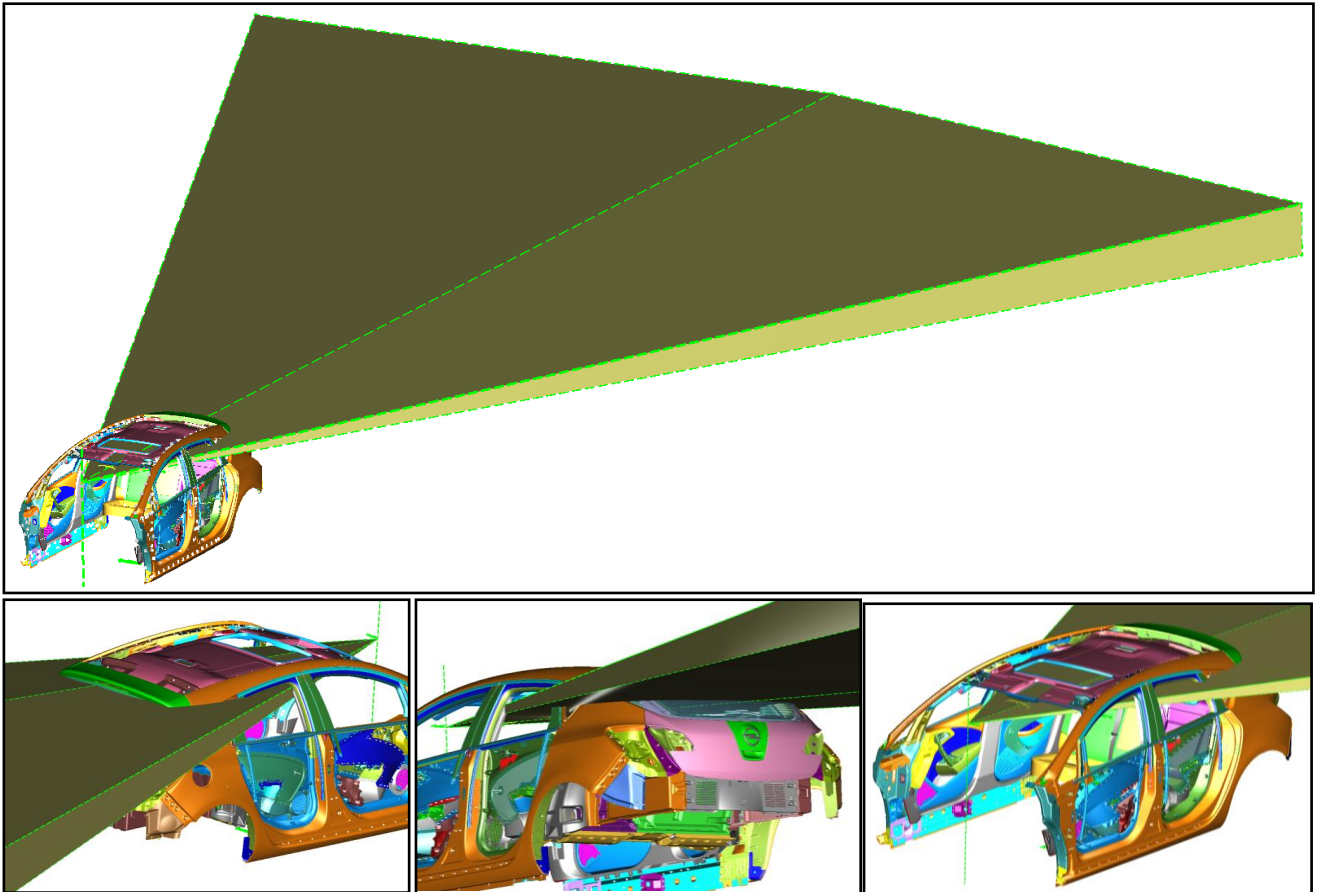


Abbildung 6.10: Resultierendes Fernbereichstarget im Datenmodell eines realexistierenden Fahrzeugs positioniert auf den Spiegelaugpunkt zur Ermittlung der Hecksichtbedingungen im (indirekten) Fernsichtbereich. Targetgeometrie abgeleitet gemäß Forbes et al. (1970) (wie oben eingehend beschrieben).

Zur quantitativen Erfassung des Verdeckungsanteils innerhalb des Raumwinkelbereiches, der von der Targetgeometrie definiert wird, wird analog zum Frontsichtbereich eine Durchdringungsanalyse der einzelnen Teilsegmente (Pyramidenstacheln des Hecksicht-Igels) berechnet.

In gleicher Weise wird ein „Hedgehog“ für das Target des rückwärtigen Nahbereichs verwendet, um die Verdeckungsanteile durch die Fahrzeugstruktur innerhalb des betrachteten Raumwinkelbereichs zu ermitteln. Abbildung 6.11 zeigt die Vorgehensweise zur Targetableitung. Da die Targetgeometrie wie oben beschrieben jeweils spezifisch für das zu beurteilende Fahrzeug ist, wird jeweils ein spezifischer Hedgehog aufgebaut.

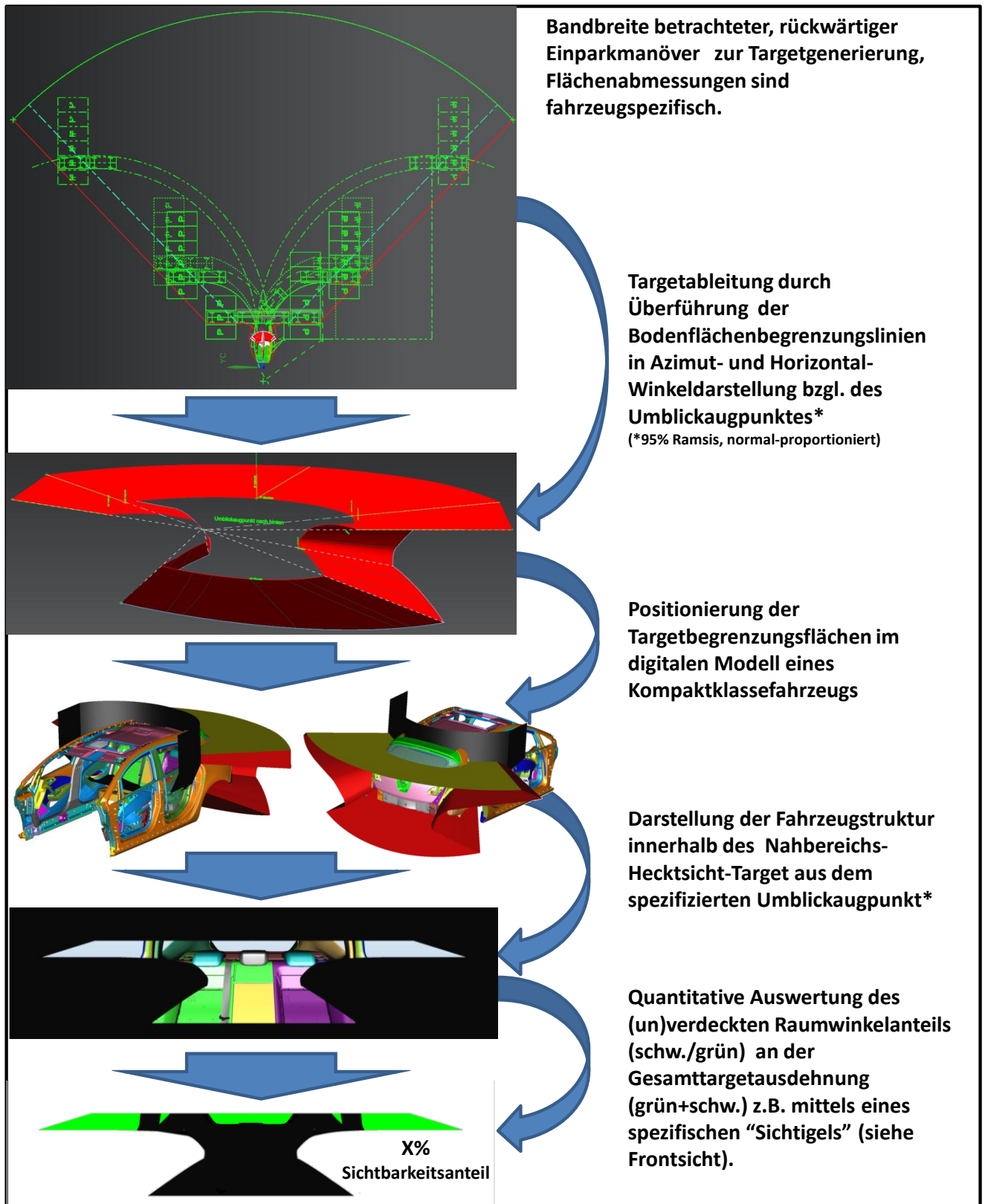


Abbildung 6.11: Entstehungsprinzip des Nahbereichshecksicht-Targets für ein typisches Fahrzeug der Kompaktklasse.

Die exemplarische Anwendung der so generierten Hedgehogs auf zwei aktuelle Produktionsfahrzeuge ist in Abbildung 6.13 bzw. Abbildung 6.14 dargestellt. Hierbei werden zwei Fahrzeuge gewählt, denen innerhalb der bereits erwähnten dynamischen Sichtbeurteilungsreihe (vgl. Kapitel 4) möglichst unterschiedliche Subjektivbewertungen bzgl. der Hecksicht (Fahrzeug C und D, Abbildung 6.12) zugeschrieben werden.

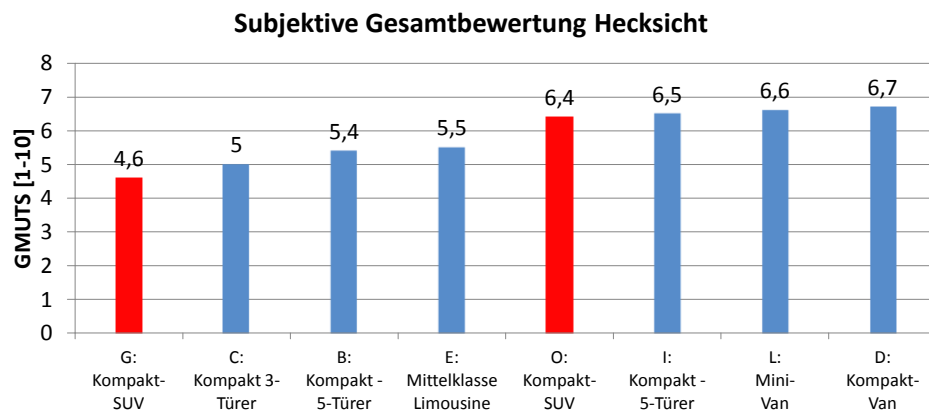


Abbildung 6.12: Ergebnisse der subjektiven Gesamtbeurteilungen der Hecksichtbedingungen aus einer dynamischen Probandenstudie ($N > 40$). (SUVs (rot) werden auch hier bauartbedingt (Standhöhe, Augpunkthöhe über Grund) aus der Betrachtung ausgeschlossen)

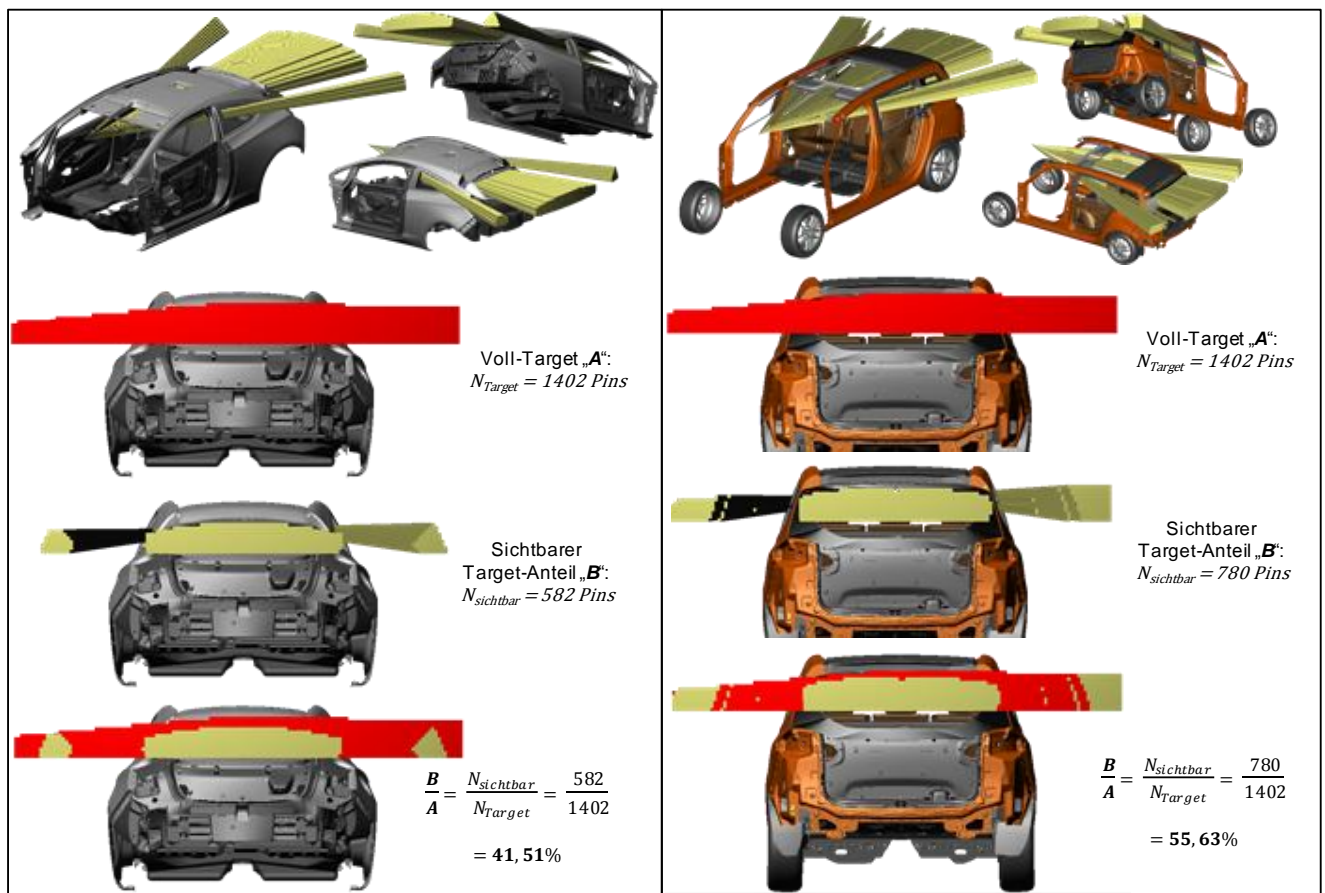


Abbildung 6.13: Fernbereichsbewertung für Fahrzeug "C" (links) und Fahrzeug "D" (rechts).

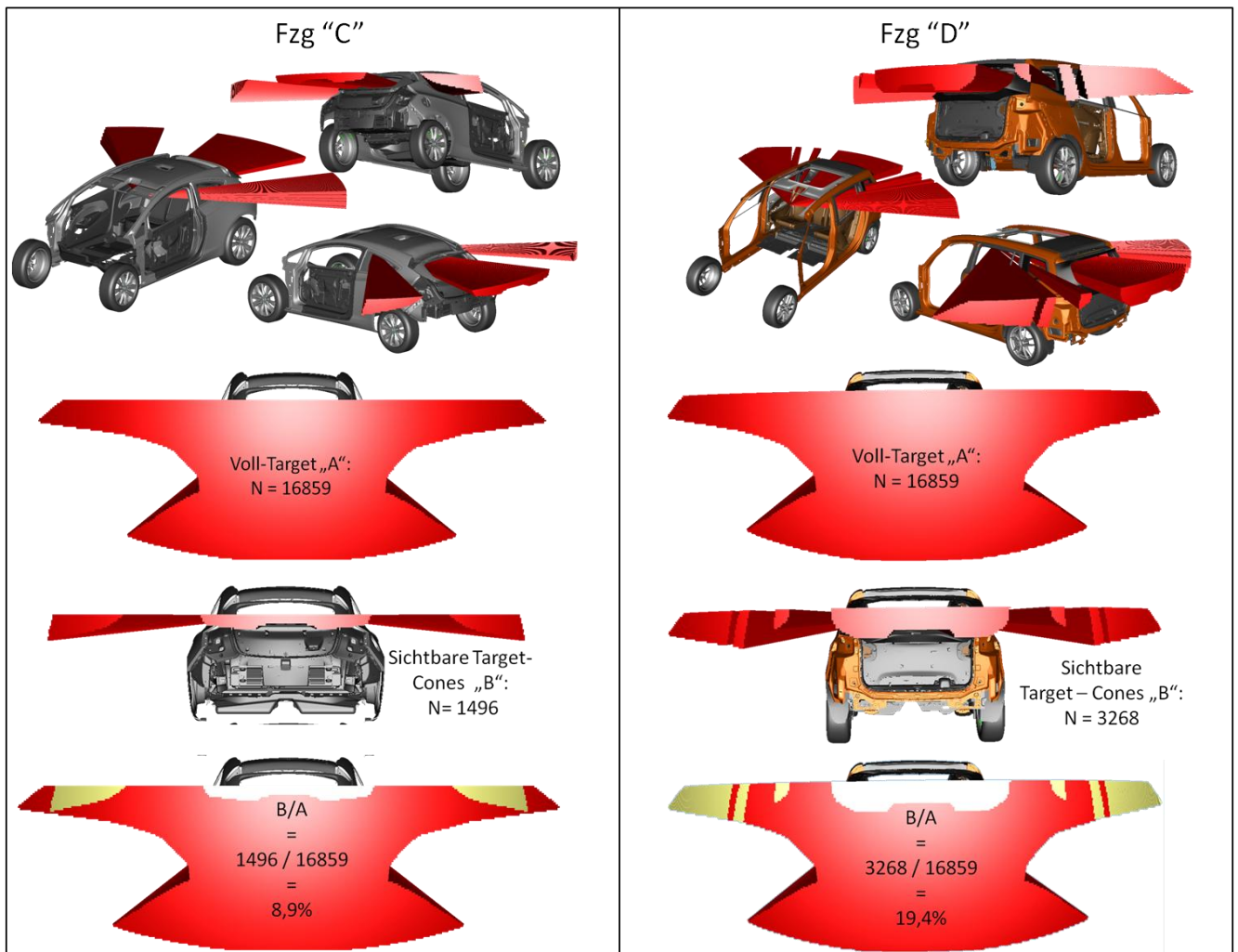


Abbildung 6.14: Nahbereichsbewertung für Fahrzeug "C" (links) und Fahrzeug "D" (rechts).

Für den *Fernbereich* ergibt sich für das untersuchte Fahrzeugpaar ein Verdeckungsverhältnis von 41,5%, („C“) bzw. 55,6% („D“) während für den *Nahbereich* lediglich 8,9 % („C“) bzw. 19,4% („D“) Durchsicht ermittelt werden. Das Ergebnis im Nahbereich ist erwartungskonform gegenüber dem Fernbereich sehr gering, was sich aus der Tatsache ergibt, dass die direkt hinten am Fahrzeug angrenzenden Bodenbereiche in einem typischen Fahrzeug nicht direkt einsehbar sein können. Hierdurch wird zwar die Sensibilität der Methode geschmälert, da sich die Differenzierung zwischen guten und schlechten Fahrzeugen im Wesentlichen in der oberen Targethälfte abspielt. In Ermangelung eines belastbaren Abgrenzungskriteriums für die unteren Elevationswinkelbereich, wie es analog das vereinfachte A-Feld für den Frontsichtbereich darstellt, wird jedoch zunächst an der top down entwickelten Target-Geometrie festgehalten und keine Verkleinerung im unteren Elevationsbereich zur Steigerung der Sensibilität vorgenommen.

7. Methode zur Gesamtsichtbeurteilung

Nachdem nun der jeweilige Sichtbedarf des Fahrers für die einzelnen Sichtbereiche evaluiert ist und spezifisch abgeleitete Beurteilungsmethoden zur Anwendung des Sichtbedarfs als Bewertungskriterium vorliegen, werden diese Teilbedarfe verwendet um die jeweiligen Teilerfüllungsgrade E_i des Front-, Seiten- und Heck-Sichtbedarfs für das zu bewertende Fahrzeug zu ermitteln. Gemäß der in Kapitel 3.2 entwickelten Gleichung wird daraus die Gesamtsichtbewertung unter Berücksichtigung der Teilbereichsgewichtungen abgeleitet:

$$Gesamtsicht = 0,576 \cdot E_{Front} + 0,136 \cdot E_{links} + 0,129 \cdot E_{rechts} + 0,053 \cdot E_{Heck,fern} + 0,106 \cdot E_{Heck,nah}$$

Abbildung 7.1 zeigt im Überblick die resultierenden Gewichtungen G_i der Teilsichtbereiche aus der Unfalldatenanalyse sowie die Vorgehensweise zur Ermittlung des spezifischen Teil-Sichtbedarfs.

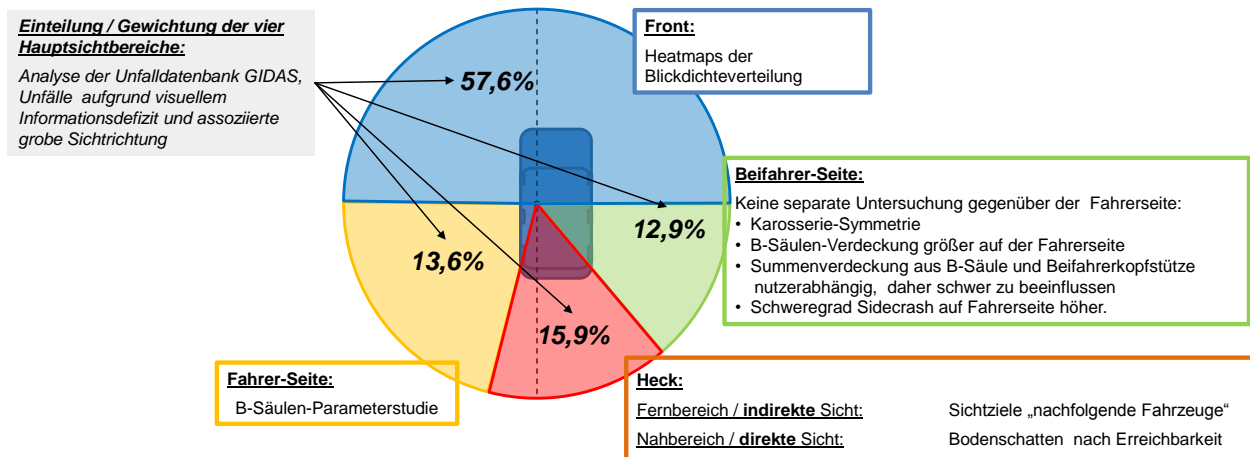


Abbildung 7.1: Überblick über die Teilsichtbereiche: Globale Gewichtung und Erhebungsmethode zur Sichtbedarfsermittlung

Die Teilerfüllungsgrade E_i entsprechen den jeweiligen Sichtbedarfs-Erfüllungsgraden der einzelnen Sichtbereiche und werden im Folgenden definiert.

7.1. Definition der Erfüllungsgrade der Teilsichtbereichskriterien

7.1.1. Frontsicht

Der Erfüllungsgrad des Frontsichtkriteriums ergibt sich wie in Kapitel 4 hergeleitet aus dem gewichteten prozentualen Schattenwurfergebnis wie es rein datenbasiert z.B. mit Hilfe des beschriebenen Tools „Hedgehog“ ermittelt werden kann. Er entspricht in diesem Fall dem Verhältnis der Summenmassen der „Hedgehog“ Target-Kegel ohne Durchdringung mit der sichtbegrenzenden Fahrzeugstruktur ($m_{TK,oD}$) bezogen auf die Gesamtmasse aller Targetkegel des „Hedgehogs“ mit und ohne Durchdringung ($m_{TK,mD}$, $m_{TK,oD}$):

$$E_{Front} = \frac{\sum_{Front} m_{TK,oD}}{\sum_{Front} m_{TK,oD} + \sum_{Front} m_{TK,mD}}$$

7.1.2. Seitensicht

Für die Seitensicht ergibt sich der Teilerfüllungsgrad E_{Seite} für Fahrer- und Beifahrerseite gemäß Kapitel 5 aus dem Wert jenes Fahrerperzentils, dessen Augpunkt von der 17°-Kriterien-Tangente an die Vorderkante der fahrerseitigen B-Säule getroffen wird. Dieser Perzentilwert entspricht dem prozentualen Anteil des zu erwartenden Nutzerkollektivs, für den das geforderte Kriterium (über)erfüllt ist.

7.1.3. Hecksicht

Die Erfüllungsgrade des Hecksichtkriteriums zur Integration in die Gesamtsichtbeurteilungskennzahl ergibt sich aus den Verhältnissen von einsehbaren und nichteinsehbaren Raumwinkelbereichen der beiden Hecktargets für die direkte und indirekte Sicht. Diese werden für das Fern- und Nahbereichs-Target jeweils mit einem hecksichtspezifischen „Hedgehog“ bestimmt und ergeben sich demnach je aus der Summe der Anzahl bzw. der Massen der durchdringungsfreien „Hedgehog“-Target-Kegel (ohne Durchdringung: TK_{oD}) zu der Gesamtzahl /-masse aller „Hedgehog“-Kegel *mit & ohne* Durchdringung (TK_{mD} , TK_{oD}):

$$E_{Heck,fern} = \frac{\sum_{fern} TK_{oD}}{\sum_{fern} TK_{oD} + \sum_{fern} TK_{mD}}$$

$$E_{Heck,nah} = \frac{\sum_{nah} TK_{oD}}{\sum_{nah} TK_{oD} + \sum_{nah} TK_{mD}}$$

7.2. Exemplarische Anwendung der Gesamtsichtbewertung

Die zuvor beschriebenen Methoden zur Teilbereichssichtbeurteilung und deren Aggregation zu einem Gesamtsichtbeurteilungswert wird im Folgenden exemplarisch mit konkreten Fahrzeugdaten angewendet, um die grundsätzliche Durchführbarkeit der Beurteilungsmethodik zu demonstrieren und einen typischen Wert für ein reales Fahrzeug aufzuzeigen.

Bei dem beurteilten Fahrzeug handelt es sich um ein aktuelles Kompaktklassefahrzeug, für das in Kapitel 4 im Rahmen der Plausibilisierung bereits ein **Frontsicht**ergebnis von $E_{Front} = 65,82\%$ ermittelt (Abbildung 7.2) wurde.

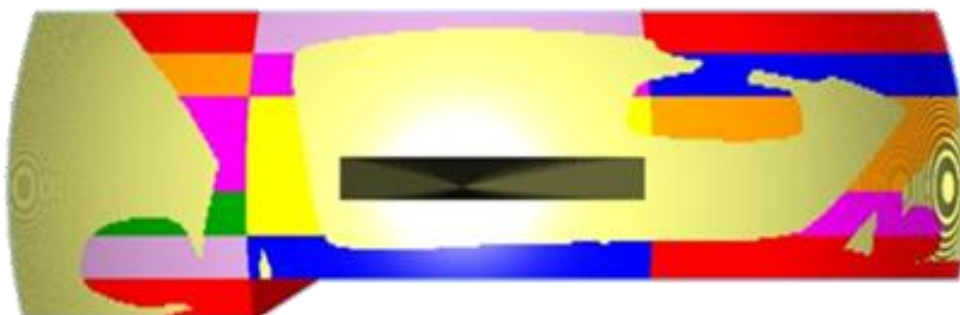


Abbildung 7.2: Frontsichtbewertung gemäß 15-Feld-Methode (Details: S. 76)

Bei der Beurteilung der **Seitensicht** kann für das gleiche Fahrzeug gemäß der oben beschriebenen Methode ein Anteil von ca. 90-95% des Fahrerkollektivs abgeschätzt werden (basierend auf „normalproportionierten“ RAMSIS-Mannequins), das einen B-Säulenpositionswinkel von mindestens 17° erwarten kann (Abbildung 7.3, links). Der Kriterien-Erfüllungsgrad für die Seitensicht ergibt sich somit ebenfalls zu $E_{Seite} = 90 - 95,0\%$.

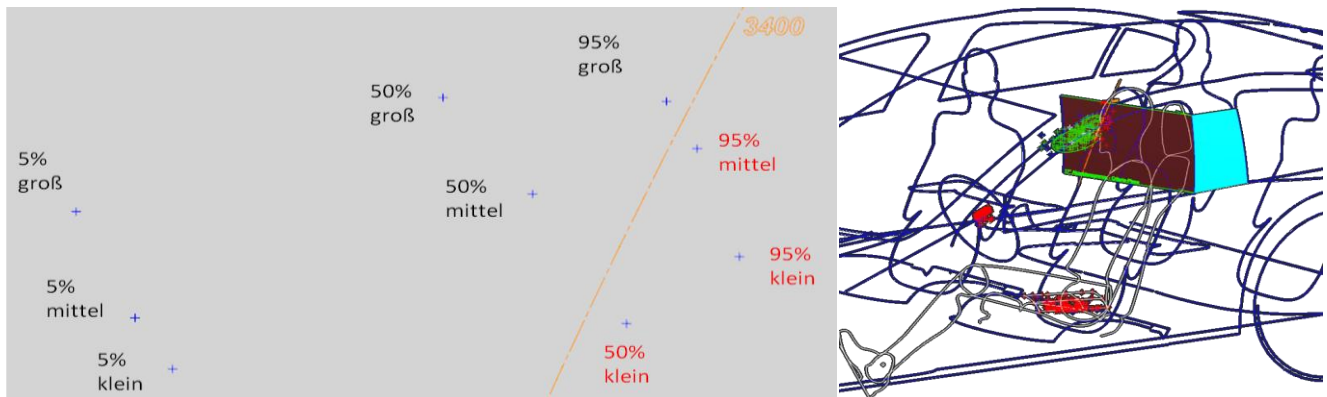


Abbildung 7.3: RAMSIS-Augpunktverteilung (Mittenaugen: 5.Perzentil wbl. - 95.Perzentil männl.) im Beispielfahrzeug je für kleine, mittlere und große Rumpflängen. Grenzlinie („3400“) ergibt sich als Schnittlinie aus der Tangentenebene (rot, rechtes Bild) an die B-Säulenvorderkante (türkis, rechtes Bild) unter 17° nach vorn/innen verlängert mit der Fahrermittenebene (Punktwolke der Mittenaugenverteilung)

Zur Absicherung des Abschätzungsergebnisses wird eine Opel-interne Studie (WAHL 2008) zu Hilfe genommen, bei der die reale Augpunktverteilung eines 170-köpfigen Versuchspersonen-Kollektivs mit repräsentativer Körpergrößenverteilung in dynamischen Fahrten ermittelt wurde (Abbildung 7.4 und Anhang M).

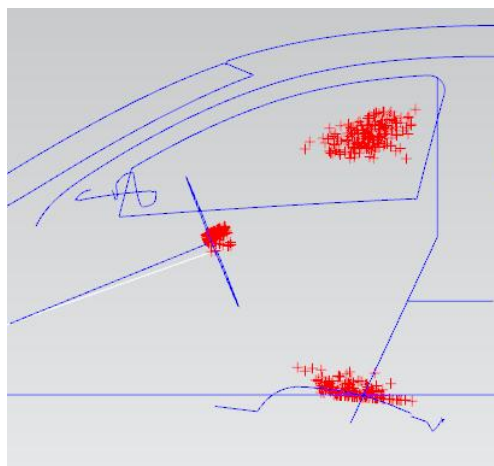


Abbildung 7.4: Links: Verteilung von dynamisch ermittelten Augpunktpositionen in einer Mittelklasselimousine (oben). (Unten/Mitte: ermittelte Sitz- und Lenkradpositionen). Rechts: Verteilung der Körpergröße (stehend & sitzend) des Probandenkollektivs (WAHL 2008).

Abbildung 7.5 zeigt die so erhobenen Augpunktpositionen (in x und z-Koordinate) im Versuchsfahrzeug, das bezüglich Lenkrad und Sitz – inkl. deren Verstellfelder - sowie nominaler Sitzposition zu Pedalerie und Lenkrad vergleichbare Abmessung gegenüber dem Beispielfahrzeug der Kompakt-

klasse bietet. Der gemessenen Augpunktverteilung sind die zusätzlich die aktuell verwendete SAE-Augpunktellipse (1997) sowie fahrzeugspezifisch generierte RAMSIS-Augpunkte gegenübergestellt. Hier wird einerseits erneut deutlich, wie stark die SAE-Augellipse von der tatsächlich ermittelten Augpunktverteilung abweicht sowie, die Schwierigkeit anhand der Augellipse eine Quantifizierung des Seitensichterfüllungsgrades zu ermitteln.

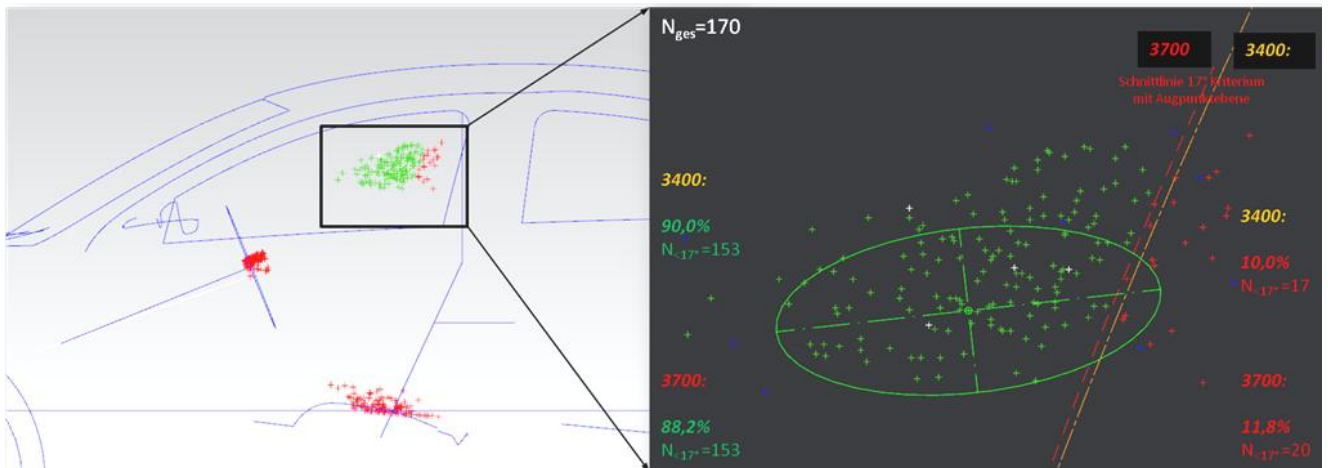


Abbildung 7.5: Ergebnis der exemplarischen Seitensichtbeurteilung: 88,2% für das Mittelklassefahrzeug, 90,0% für das Kompaktklassefahrzeug.

Gemäß des Beurteilungskonzeptes wird nun eine Fläche in einem Winkel von 17° zu Y-Achse an der vorderen B-Säulenkante angelegt und mit der Punktwolke geschnitten. Hierdurch ergibt sich die gewünschte Aufteilung in Augpunkte vor und hinter der Grenzwinkelfläche (gestrichelte Linien in Abbildung 7.5), die eine Aussage über den Kriterien-Erfüllungsgrad zulassen. Zählen der vor bzw. hinter der Grenzlinie liegenden Augpunkte ergibt für die beiden exemplarisch betrachteten Fahrzeuge Erfüllungsgrade des Seitensichtkriteriums von 88,2% (Mittelklasse) bzw. 90,0% (Kompaktklasse).

Für den **Hecksichtbereich** ergeben sich unter Verwendung der beiden beschriebenen Hedgehogs (Abbildung 7.6, Abbildung 7.7) Teilerfüllungsgrade von $E_{Heck,nah} = 15,1\%$ bzw. $E_{Heck,fern} = 49,3\%$.

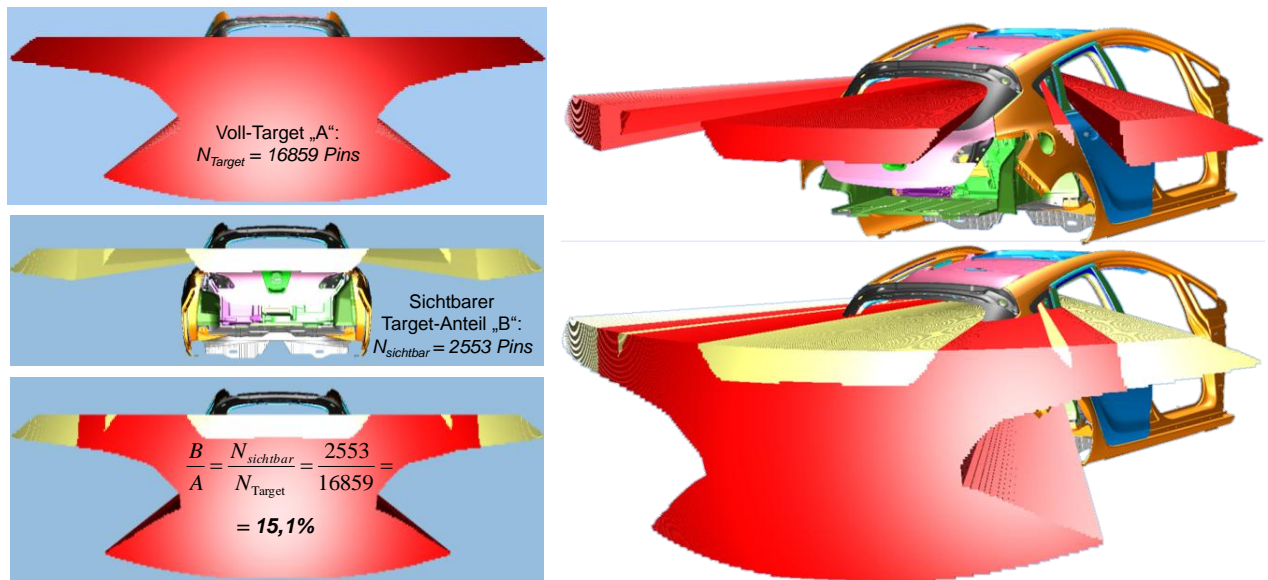


Abbildung 7.6: Ergebnis der Hecksicht-Nahbereichsbeurteilung. Voll-Target bzw. sichtbarer Anteil als Resultat der Durchdringungsanalyse der einzelnen Targetkegel (Pins) mit der sichtverdeckenden Fahrzeugstruktur.

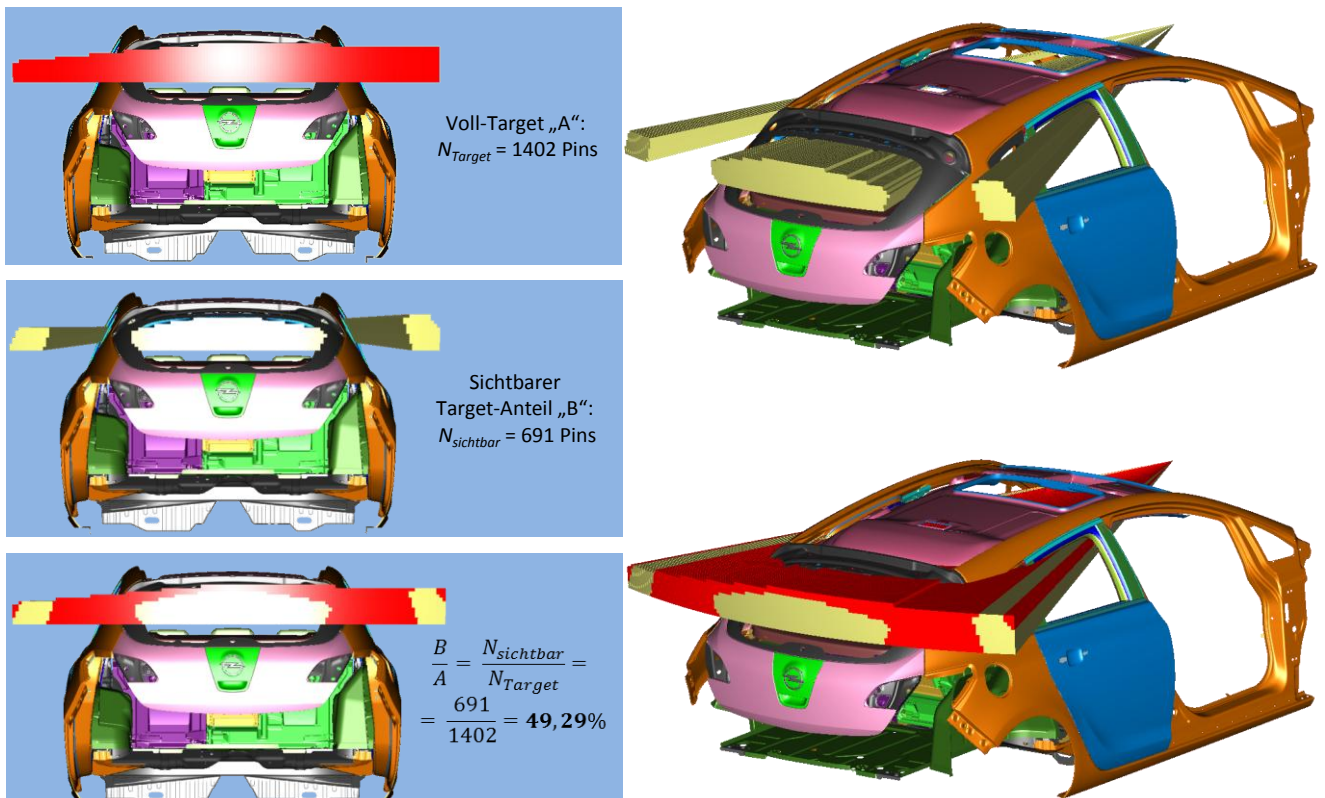


Abbildung 7.7: Ergebnis der Hecksicht-Fernbereichsbeurteilung. Voll-Target bzw. sichtbarer Anteil als Resultat der Durchdringungsanalyse der einzelnen Targetkegel (Pins) mit der sichtverdeckenden Fahrzeugstruktur.

Für die Gesamtsicht ergibt sich somit insgesamt gemäß o.g. Definition ein Gesamtsichtergebnis von:

$$\begin{aligned} \textbf{\textit{Sicht}_{gesamt}} &= \mathbf{0,576} \cdot 65,8 \% \\ &+ \mathbf{0,136} \cdot 90,0 \% \\ &+ \mathbf{0,129} \cdot 90,0 \% \\ &+ \mathbf{0,106} \cdot 15,1 \% \\ &+ \mathbf{0,053} \cdot 49,3 \% = \mathbf{66,0 \%} \end{aligned}$$

Das Ergebnis der exemplarischen Anwendung zeigt, dass das bewertete Fahrzeug den gewichteten Sichtbedarf zu 66% erfüllt. Da das Bewertungskonzept von einem allgemein gültigen, vom Fahrzeug unabhängigen Bewertungsmaßstab ausgeht, hat dieser Wert bereits ohne eine Gegenüberstellung weiterer Fahrzeuge einen Aussagewert. Aufgrund der Unabdingbarkeit von Dachsäulen und Anforderungen an den Gebrauchsnutzen und Sicherheit ist jedoch eine 100%ige Erfüllung des hier definierten Sichtbedarfs durch kein Fahrzeug zu erwarten. Daher wird die Gesamtsichtbewertung des oben exemplarisch analysierten Fahrzeugs erst im Vergleich mit weiteren analysierten Fahrzeugen eine Einordnung der Güte der Sichtgestaltung zulassen.

Dennoch können – gerade auch bei einer auf ein Fahrzeug beschränkten Betrachtung - mit der aufgezeigten Methode bereits konstruktive Änderungen am Fahrzeug hinsichtlich Ihrer Auswirkungen auf die Gesamtsicht(-Bewertung) nachvollzogen, verglichen und gesteuert werden.

7.3. Validierung der entwickelten Methode

Die entwickelte Methode zur Sichtbeurteilung muss insgesamt, wie auch in den einzelnen Teilbereichen, einer Validierung unterzogen werden, die den Nutzen bzw. die Aussagequalität für die Fahrsicherheit bzw. Diskomfort quantifiziert. Für die Projektionsmethode zur Beurteilung der Frontsicht ist dies wie im Kapitel 4 beschrieben hinsichtlich der subjektiven Beurteilung bzw. des Komforts bereits erfolgt und kann anhand der analysierten Korrelation als geeignetes Prädiktionswerkzeug für die subjektive Sichtbeurteilung angesehen werden. Die Validierung der fahrsicherheitsrelevanten Aussagequalität steht indes noch aus. Zunächst kann diese zwar grundsätzlich unterstellt werden, da das theoretische Rückgrat bei der Entwicklung auf einer Unfallstatistik aufbaut, dennoch sollten für eine echte Validierung systematische Vergleiche zwischen Beurteilungsergebnis und relativen Unfallhäufigkeiten der analysierten Fahrzeuge herangezogen werden. Als Vergleichsmaßstab für die per Methoden ermittelten Sichtbeurteilungswerte bietet sich ähnlich dem Ansatz von SIVAK et al. 2006 der Quotient aus der Anzahl von Verkehrsunfällen, die durch ein visuelles Informationsdefizit verursacht wurden und der Anzahl aller registrierten Unfälle dieses Fahrzeugtyps an. Dieses Vorgehen extrahiert etwa Einflüsse der typischen Fahrerpopulation bestimmter Fahrzeuge, die sich ansonsten u.U. auf die absolute Häufigkeit von Unfällen und ebenso auf die relative Häufigkeit von Unfällen (bezogen auf die Gesamtzahl vorhandener Fahrzeuge gleichen Typs) auswirken und das Validierungsergebnis verfälschen würden.

Bezüglich der Seitensichtbeurteilung muss außerdem eine Absicherung der Übertragbarkeit der fahrerseitig ermittelten Beurteilung auf die Beifahrerseite überprüft werden. Gemäß der höheren Relevanz der fahrerseitigen Seitensichtbeeinträchtigung durch die B-Säule in Verbindung mit der dogmatischen Symmetrie heutiger Fahrzeuge bzgl. der Fahrzeugmittelebene (Y-0) sowie der Wechselwirkung mit der Verdeckungswirkung der Beifahrerkopfstütze wird im vorliegenden Stadium die Seitensichtbeurteilung exklusiv auf die Verhältnisse auf der Fahrerseite beschränkt. Hier wäre wie oben beschrieben zumindest eine Absicherungsstudie nötig um auszuschließen, dass die Gestaltung der B-Säule gemäß der fahrerseitigen Sichtanforderungen keine kontraproduktiven Effekte auf der Beifahrerseite (Auswirkung der Symmetrie) hervorruft.

8. Ausblick

8.1. Kritische Betrachtung von Umfang und Aktualität der verwendeten Datenbasis

Da resultierende Datenfundament o.g. Unfallanalyse, welches als Gewichtunggrundlage der Hauptsichtbereiche dient, erscheint mit 66 Unfällen zunächst relativ überschaubar, was zum Teil in der späteren Integration der ACASS-Methodik in die GIDAS-Erhebung begründet ist. So umfasst der in die Arbeit eingeflossene Analysestand die Datenerhebung der ersten beiden Jahre seit der ACASS-Einführung. Da sich die 66 Unfälle jedoch aus einer Grundgesamtheit von ca. 14000 Unfällen speisen, die in die Analyse eingeflossen sind, ist nicht davon auszugehen, dass durch eine Erweiterung des Betrachtungszeitraums größere Verwerfungen der in Abbildung 3.7 gezeigten prozentualen Gewichtung der Sichtbereiche zu erwarten ist. Es wird bei der genannten Grundgesamtheit davon ausgegangen, dass die relevanten Unfalltypen darin statistisch korrekt repräsentiert sind. Die Zahl der ACASS-bewerteten Unfälle (zum Analysezeitpunkt 1588, siehe Abbildung 3.5) werden zwar rasch zunehmen, doch sollte auch hier aus dem gleichen Grund davon ausgegangen werden können, dass sich nur die absolute Zahl der relevanten Unfalltypen nicht aber deren relative Häufigkeit wesentlich verändern wird. Sollte eine aktualisierte Auswertung entgegen den Erwartungen dennoch größere Abweichungen ergeben, so kann aufgrund des modularen Untersuchungsansatzes, die einzelnen Sichtbereiche einzeln zu untersuchen durch Änderung des Gewichtungsschlüssels schnell und effektiv entsprochen werden. Gleiches gilt für die erhobene Datenbasis zur Frontsichtbewertung, die durch ihr ebenfalls modulares Untersuchungskonzept anhand eines angepassten Situations-Gewichtungsschlüssels unter Beibehaltung der einzelnen ermittelten, situationsspezifischen Blickverteilungsdichteverteilungen aktualisiert werden kann.

8.2. Optimierungspotential

8.2.1. Seitensicht

Die Übertragung des Untersuchungsansatzes der Frontsicht auf die Seitensicht scheitert im Rahmen der vorliegenden Arbeit an der technischen Plattform, die zur Erfassung der Blickrichtung bzw. Blickdichteverteilung zur Verfügung steht. Eine optimierte technische Basis könnte zukünftig die Evaluierung des Seitensichtbedarfs insbesondere für die Beifahrerseite ermöglichen. Dabei könnte analog dem Untersuchungskonzept für die Frontsicht eine Versuchsreihe mit entsprechenden Verkehrssituationen in einem quasi-verdeckungsfreien Fahrzeug durchgeführt werden und die ermittelten situationsspezifischen Blickdichteverteilungen anhand der Unfalldatenanalyse superponiert werden.

8.2.2. Hecksicht

Da die Targetfläche für den Fernsichtbereich noch keine differenzierte Gewichtung von Teilbereichen innerhalb aufweist, wie es bei der Frontsicht (s.o.) der Fall ist, generiert die Verwendung dieses Targets zur Beurteilung keine Aussage über die Relevanz der Lage der Verdeckung innerhalb des Targets. Eine stärker differenzierte Dichteverteilung der Frontlichterposition nachfolgender Fahrzeuge als sie von FORBES et al. (1970) erhoben ist, könnte hier Abhilfe schaffen. Dazu könnten ähnliche Versuche wie von Forbes et al. durchgeführt werden, um die Häufigkeitsverteilung der Position nachfolgender Fahrzeuge innerhalb des Targetwinkelbereichs zu erheben und einer Gewichtung zu Grunde zu legen.

Mit der starken Ausdehnung des Nahbereichstargets nach unten verliert das Gesamtergebnis Sensitivität gegenüber Änderungen der Fahrzeuggestaltung im Heckbereich. Das exemplarisch bewertete Fahrzeug weist mit 15% sichtbarem Anteil einen recht kleinen Wert auf. Realistisch ist jedoch davon auszugehen, dass kein Fahrzeug in der Lage sein wird, den unteren Bereich sichtbar zu machen. Damit bleibt ein großer Teil (~50%) der Targetfläche immer verdeckt und eine Nettoverdoppelung des sichtbaren Bereiches fließt nur mit einer ca. 25%igen Zunahme ins Hecksicht-nahbereichsteilergebnis ein. Wird die mit 10,6% relativ geringe Gewichtung des rückwärtigen Nahbereichs mitberücksichtigt, so wird deutlich, dass die Gestaltungsparameter der Hecksicht in diesem Bereich kaum einen Einfluss auf die Gesamtbewertung des Fahrzeugs hat.

Dementsprechend ist angeraten anhand einer umfangreichen Messreihe verschiedener Fahrzeuge eine Neudefinition der Untergrenze des Nahbereichstargets zu treffen. Dieses würde zwar den Top Down Ansatz der ursprünglichen Target-Entwicklung verletzen, dürfte die Verwendbarkeit sowie die Realitätsnähe der Ergebnisse aber steigern. Alternativ kann hier – wie für alle anderen Teilsichtbereiche – ein Grenzwert im Sinne eines Mindest-Teilerfüllungsgrades definiert werden, der die Unterschreitung eines sichtbaren Anteils im Teilsichtbereich untersagt. Auch hierfür wären für eine sinnvolle Grenzwertfindung ausgedehnte Messreihen nötig, die ggf. auch fahrzeugsegmentspezifisch kategorisiert werden könnten.

8.3. Anwendung in der industriellen Praxis

Die Wirksamkeit einer Beurteilungsmethode als Hebel zur Optimierung des Beurteilten Objektes steht und fällt mit deren Akzeptanz beim Anwender. Daher ist es wichtig, die Durchführbarkeit sowie die Ergebnisdarstellung in einer Form zu gewährleisten, die auch ohne Expertenwissen verständlich ist. Für die hier entwickelte Frontsichtbeurteilungsmethodik hat sich der sogenannte „Hedgehog“ bzw. die 15-Feldmethode beim Industriepartner bereits als anschauliches Werkzeug zur Sichtbereichsbeurteilung erwiesen (Abbildung 8.1).

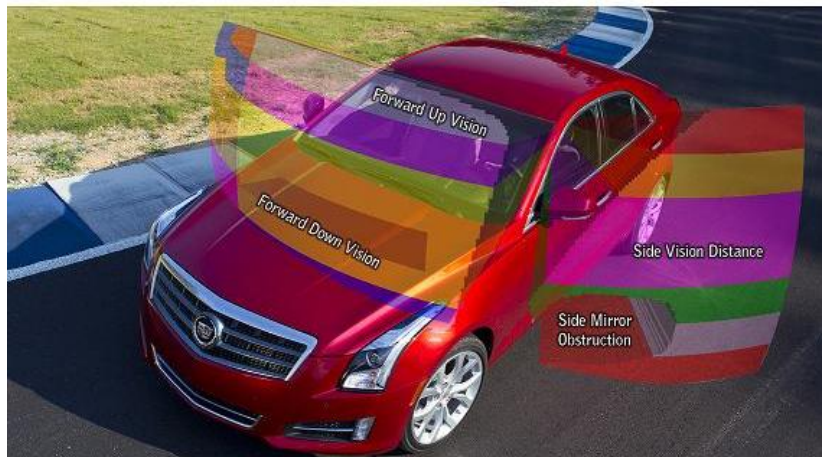


Abbildung 8.1: Im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Bewertungsmethode der Frontsicht in industrieller Anwendung (CADILLAC 2013, © GM Company).

Neben der Beurteilung existierender oder kurz vor der Einführung stehender Fahrzeuge kann die entwickelte Frontsichtbeurteilungsmethode aber auch zur Generierung von Entwicklungs-Zielwerte herangezogen werden. Eine Analyse des Wettbewerbsumfeldes mit dem Tool ermöglicht die Definition von Größe und Lokalisation von Sichtsichtflächen.

Gegenüber der klassischen Zielwertdefinition im Konstruktionsprozess anhand von sog. typischen Schnitten, können aufgrund der dreidimensionalen Gestalt der Hedgehog-Ergebnisse die neuartigen Vorgaben auch weiterhin direkt auf Konstruktors-Ebene beachtet werden, die Auswirkungen der Konstruktion sowie potentieller Optimierungsbedarf bspw. einer A-Säulen-Konstruktion werden nun aber unmittelbar und in ihrer geometrischer Gänze ersichtlich.

Literaturverzeichnis

Literaturquellen

- ABENDROTH, Bettina. Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen. Bericht aus dem Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt. Schriftenreihe Ergonomie. Hg: Landau, Kurt. Stuttgart: Ergonomia Verl., 2001.
- ABENDROTH, Bettina; BRUDER, Ralph. „Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung“. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Hg.: Winner, Hermann; Hakuli, Stephan; Wolf, Gabriele. Wiesbaden: Vieweg, 2009: S.4-14.
- BANGEMANN, Christian, THOMAS, Jörn: Master-Test International – Kleinwagen. In: Auto Motor und Sport Nr.25/2006, Motor Presse Stuttgart.
- BANGEMANN C.: Master-Test International – Kompaktvans. In: Auto Motor und Sport Nr. 14/2007, Motor Presse Stuttgart.
- BARNOSKI, Richard L.; MAURER, John R.1970; KUGLER, B. Andrew 1970: Assessment of Automotive Visibility by a Figure of Merit. In: BRIGGS, C.R.; MALSCHAERT, Prof. F.P. (Hrsg.): 1970 International Automobile Safety Conference Compendium. Detroit, Michigan: Society of Automotive Engineers, Inc., 1970, S.644 – 676
- BENDA, H. ; HOYOS, C. Graf ; SCHAIBLE-RAPP, A.1983: Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bereich Unfallforschung. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen, 1983.
- BOCK, Thomas; MAURER, Markus; VAN MEEL, Franciscus; MÜLLER, Thomas: “Vehicle in the loop – Ein innovativer Ansatz zur Kopplung virtueller mit realer Erprobung”, ATZ 2008, 110, S10-16
- BOCK, Thomas: Eigenschaftsentwicklung für Fahrerassistenzsysteme mithilfe von Vehicle In the Loop (VIL). In: Hermann Winner, Ralph Bruder (Hrsg.): Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen? Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2009, ISBN-978-3-935089-14-7, S.55-66
- BOGGESE, Brian; WIECHEL, John; MORR, Douglas; ANDERSON, Jon; PIPO, James. Anatomical Limitations of the Visual Field of View: An Example of Driving Perspective. SAE Technical Paper 2008-01-1876. Warrendale: SAE Int'l, 2008.
- BRAESS, Hans-Hermann und Seiffert, Ullrich. Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 4.Auflage. Wiesbaden: Vieweg, 2005
- BRANKE & KLANGWALD (2007):Autobild Nr.20/2007, Springer
- BRÜCKMANN, Ralph ; CHMIELARZ, Maria ; CHURAN, Jan ; GOTTLIEB, Dr. Wolfgang ; HATZIUS, Jörgen ; HOSEMAN, Dr. Arn ; REITTER, Christian ; RÖßGER, Dr. Peter ; SCHNEIDER, Prof. Dr. Walter ; SPRENGER, Andreas ; THEIL, Liselotte: Blickfixationen und Blickbewegungen des Fahrzeugführers sowie Hauptsichtbereiche an der Windschutzscheibe. Frankfurt am Main: FAT - Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V., 2000.
- BUBB, H. : Menschliche Zuverlässigkeit und sicheres Fahren – ein Widerspruch? In: Hermann Winner, Ralph Bruder (Hrsg.): Maßstäbe des sicheren Fahrens? Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2013, ISBN- 978-3-935089-27-9 S107-132

-
- BUBB, H.: Ergonomie und Design. In: Braess, Hans-Hermann (Hrsg.): Automobil Design und Technik - Formgebung, Funktionalität, Technik. Wiesbaden: Vieweg, 2007, ISBN 978-3-834801-77-7
- COHEN, Amos S. Einflußgrößen auf das nutzbare Sehfeld: Bericht zum Forschungsprojekt 8005. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Hg: BAST. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1984.
- COHEN, Amos S.: Visuelle Orientierung im Strassenverkehr. Bern: Bfu, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, 1998. ISBN-3-90819-00-5
- COHEN, Amos S. „Visuelle Informationsaufnahme des motorisierten Verkehrsteilnehmers“. Interdisziplinäre Unfallforschung: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers. Hg: Marx, Erich. 3. Fachtagung Verkehrssicherheit, Mitt. Institut für Verkehrswesen. Heft 24. Wien: Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, 1994: 17-34.
- COHEN, Amos S.; HIRSIG, René: Zur Bedeutung des fovealen Sehens für die Informationsaufnahme bei hoher Beanspruchung. In: Derkum, H. (Hrsg.): Sicht und Sicherheit im Straßenverkehr, Verlag TÜV Rheinland. 1990, ISBN 3-88585-867-3.
- ERKE, Heiner; ZIMOLONG, Bernhard. Verkehrskonflikte im Innerortsbereich: Eine Untersuchung zur Verkehrskonflikt-Technik. Bericht der BAST, Reihe Unfall und Sicherheitsforschung im Straßenverkehr. Band 15. Köln, 1978.
- ESTEVE, Bruno; BERGER, Henri; AOUSSAT, Ameziane; DUCHAMP, Robert. Visibility of Vehicles - Concept of Visibility Field Proposal for a Measurement and Evaluation Method Based on Photogrammetry. SAE Technical Paper 1999-01-3234. Warrendale: SAE Int'l, 1999.
- EYSEL, Ulf. „Sehen und Augenbewegung“. Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie. Hg: Schmidt, Robert F.; Lang, Florian. 30., neu bearb. und akt. Aufl. Berlin/Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2007.
- FASTENMEIER, Wolfgang: Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem; in: Fastenmeier, W. (Hrsg.): Autofahrer und Verkehrssituation: neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme, TÜV Rheinland, Köln, 1995
- FGSV. Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen: Teil 1 - Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Köln: FGSV Verlag, 2003.
- FORBES 1970: Forbes, Lyman M.: Geometric Vision Requirements in the Driving Task. Detroit, Michigan: SOCIETY OF AUTOMOBILE ENGINEERS, INC., 1970.
- FORBES, Lyman ; FARBER, Eugene ; SWIGART, Thomas F. ; JACK, Daniel D. ; MAURER, D. (Hrsg.): Field Of View From Automotive Vehicles SP-381. Detroit, Michigan: SAE, 1973.
- GARROTT, W. R., Mazzae, E.N., The Ability Of Rear-Mounted Convex Mirrors To Improve Rear Visibility, NHTSA, 2009
- GAUSENMEIER, Jürgen Prof. Dr.-Ing, FRÜND, Jürgen Dipl.-Inf., MATYSCZOK, Carsten Dipl.-Inf., RADKOWSKI, Rafael Dipl.-Ing: Einsatz der Technologie Augmented Reality in der Automobilvorentwicklung. In: JÜRGEN GAUSEMEIER, Micheal Grafe (Hrsg.): Augmented und virtual reality in der Produktentstehung. Paderborn: HNI-Verlag, 2003. ISBN-3 935433 32 8, S. 169-180
- GRÜSSER, O.-J., GRÜSSER-CORNEHLS, U.: Gesichtssinn. In: Schmidt, R. F., Thews, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 23. Auflage, Springer-Verlag, S. 249-290, 1987.

-
- HANDKE, Norbert. Kombination von Untersuchungsmethoden bei Sicherheitsanalysen im Straßenverkehr. Schriftenreihe des Fachgebiets Planung, Entwurf und Betrieb von Straßenverkehrsanlagen, Heft 16. Hannover: IVH, 1996.
- HARTMAN, Erwin. Driver Vision Requirements. SAE Technical Paper 700392. Warrendale: SAE Int'l, 1970.
- HENDERSON, Robert L.; SMITH, Russell L.; BURGER, William J.; STERN, Seymour D.: Visibility from Motor Vehicles. SAE International Congress & Exposition, Detroit Michigan. Warrendale: SAE International, 1983, SAE Technical Paper No 830564,
- HILLS, Brian L.: „Vision, Visibility, and Perception in Driving“. Perception 9 (1980): S.183-216.
- HOFFMAN, James E.; SUBRAMANIAM, Baskaran. „The Role of Visual Attention in Saccadic Eye Movements“. Perception & Psychophysics 57 (1995): S.787-795.
- HÖFNER, Klaus ; HOSKOVEC, Jiri: Registrierung der Blickbewegung beim Autofahren - bisherige Forschungen. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 19 (1973) Nr. 4, S.222 – 241
- HUDELMAIER, Jörg: *Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika*. München, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen, 2003
- KELLEY, Charles R.: *Automobile Rear Vision*. Detroit, Michigan: Society of Automobile Engineers, 1970.
- KNAPPE, Gwendolin; KEINATH, Andreas; MEINECKE, Cristina: Die Sensitivität verschiedener Maße zur Fahrzeugquerregelung im Vergleich. In: Prof. Dr. Bernhard Schlag (Hrsg.): *Fortschritte der Verkehrspsychologie*. Wiesbaden : VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008, ISBN - 978-3-531-15956-0, S. 237-256
- KNOLL, P.M.: Prädiktive Fahrerassistenz – Vom Komfortsystem zur aktiven Unfallvermeidung. In ATZ 3/2005, 107. Jahrgang Hg Basshuysen,v., R.; Wiesbaden: Vieweg, März 2005, S230-237
- KÜHLMEYER, Manfred. Statistische Auswertungsmethoden für Ingenieure: Mit Praxisbeispielen. Berlin: Springer, 2001
- LANDAU, Kurt; ABENDROTH, Bettina; MEYER, Oliver; ACKERT, Holger. „MEPEF - Methoden zur polygraphischen Erfassung des Fahrerverhaltens“. Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko:Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003. Hg: Landau, Kurt; Winner, Hermann. Fortschritts-Berichte VDI-Reihe 12, Verkehrstechnik/ Fahrzeugtechnik. Band 557. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003: 40-65.
- LORENZ, Stephan; KAISER, Ralf; ASSMANN, Ernst; ENGSTLER, Florian; ZÖLLNER, Rolf: Ergonomieabsicherung im Fahrzeug mittels Mixed Reality: Beeinflussung der Sitzposition durch die Vorgehensweise bei der Sitzeinstellung. In: *Zeitschrift f. Arbeitswissenschaft* 62(2008) Nr.1, S.3-14
- MACKWORTH, Norman H.; MORANDI, Anthony J. „The Gaze Selects Informative Details Within Pictures“. Perception & Psychophysics 2 (1967): 547-552.
- MANARY, Miriam A.; FLANNAGAN, Carol A. C. ; REED, Matthew P. ; SCHNEIDER LAWRENCE W.; *Development of an Improved Driver Eye Position Model*. Technical Paper 980012. Detroit: SAE Publication Group, 1998.

-
- MELDRUM, James (1965): Automobile driver eye position. Technical Paper 650464, SAE International, Warrendale, PA.
- MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio: „A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays“. IEICE Transactions on Information Systems Vol. E77-D, Nr. 12 (1994).
- MORTIMER, Rudolf: Human Factors in Vehicle Design. Wiley-Interscience, 1972, ISBN- 0-471-26560-8, S. 191-223
- MOURANT, Ronald R.; ROCKWELL, Thomas H. „Strategies of Visual Search by Novice and Experienced Drivers“. Human Factors 14 (1972): 325-335.
- NEALE, V.: The 100-Car Naturalistic Driving Study. In: Hermann Winner, Ralph Bruder (Hrsg.): Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen? Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2009, ISBN- 978-3-935089-14-7.
- NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration (November 2006). Vehicle Backover Avoidance Technology Study: Report to Congress. Washington, DC: NHTSA.
- NHTSA: Light Vehicle Rear Visibility Assessment (DOT HS 810-909). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. 2008.
- NHTSA: Advanced Notice of Proposed Rulemaking, FMVSS No. 111, Rearview Mirrors, Docket No NHTSA 2009-0041, 28. Februar 2009 (http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/Rear_Visibility_ANPRM_022509.pdf, letzter Aufruf: 12. Dez. 2012)
- OEHLSCHLAEGER, Horst; KREBS, Jens; GRAFE, Michael; RADKOWSKI, Rafael: „Augmented Reality in der Fahrzeug-Konzeptentwicklung.“ *Industrie Management*, 2005, 21, 2, S.31-34.
- OTTE, Dietmar; KRETTEK, Christian; BRUNNER, Horst; ZWIPP, Hans. „Scientific Approach and Methodology of a New In-depth Investigation Study in Germany“. Proceedings of the 18th ESV Conference, Nagoya, Japan. Nagoya, 2003.
- OTTE, Dietmar; PUND, Bernd; JÄNSCH, Michael. „A New Approach of Accident Causation Analysis by Seven Steps ACASS“. Paper Number 09-0245. Proceedings of the 21th ESV Conference, Stuttgart, Deutschland. Stuttgart, 2009a.
- OTTE, Dietmar; PUND, Bernd; JÄNSCH, Michael. „Unfallursachen-Analyse ACASS für Erhebungen am Unfallort – Seven-Steps-Methode“. ZVS 55 (2009b): 122-128.
- PAINE, Michael, MACBETH, Adam, HENDERSON, Michael, *The Danger To Young Pedestrians From Reversing Motor Vehicles- 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Paper No. 466*, 2003.
- PFLEGER, Ernst; BERGER, Wolfgang; PICHLER, Christoph. „Unfallursachenforschung bei Unfallhäufungsstellen - Fallbeispiele für Informationsdefizite“. Interdisziplinäre Unfallforschung: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers. Hg: Marx, Erich. 3. Fachtagung Verkehrssicherheit, Mitt. Institut für Verkehrswesen. Heft 24. Wien: Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, 1994: 47-83.
- PROTEAU, Luc: Vision and motor control. Amsterdam [u.a.] : North Holland, 1992, - 0444888160, S. XVIII, 478

- REMLINGER, Wolfram: Welche Anforderungen sind an komfortbezogene Ergonomiedaten zu stellen? In: BUBB, Heiner (Hrsg.): Ergonomie und Verkehrssicherheit - GfA Konferenzbeiträge der Herbstkonferenz 2000, 12. - 13. Oktober 2000 an der Technischen Universität München. München: Utz, 2000, - 3-89675-934-5, S. 153 – 169
- REMLINGER, Wolfram ; BUBB, Heiner: RAMSIS kognitiv - das Menschmodell lernt sehen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Produkt- und Produktions-Ergonomie - Aufgabe für Entwickler und Planer. Dortmund : GfA-Press, 2008, ISBN- 978-3-936804-06-5, S. 51-55
- REMLINGER, Wolfgang ; BUBB, Heiner ; WIRSCHING, Hans-Joachim: Sichtauslegung von Anzeigen mit ‚RAMSIS kognitiv‘. In: Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt) (Hrsg.): *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. 5. VDI-Tagung, Braunschweig.* VDI Nachrichten, 2009, ISBN- 978-3-18-092085-6.
- RENZ S.: Test Einparken und Rundumsicht „Gut zur Lücke“. In: Auto Motor und Sport Nr.19/2010, Motor Presse Stuttgart
- ROCKWELL, Thomas H.; OVERBY, Chuck; MOURANT, Ronald R. „Drivers' Eye Movements: An Apparatus and Calibration“. Highway Research Record 247 (1968): S.29-41.
- ROCKWELL, Thomas H.: Skills, judgement and information acquisition in driving. In: FORBES, T.W. (Hrsg.): Human factors in highway traffic safety research.. New York, NY : Wiley-Interscience, 1972, S.133-164
- RÖTTING, Matthias: *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen.* 2001
- SACHS, Lothar: Anwendung statistischer Methoden. Achte Auflage, Springer, Berlin Heidelberg New York (1997)
- SAE-SP 381: FORBES, Lyman ; FARBER, Eugene ; SWIGART, Thomas F. ; JACK, Daniel D. ; MAURER, D. (Hrsg.): *Field Of View From Automotive Vehicles SP-381. Detroit, Michigan : SAE, 1973 (SAE SP 381).*
- SEECK, Andre; GAIL, Jost; SFERCO, Raimondo; OTTE, Dietmar; HANNAWALD, Lars; ZWIPP, Hans; BAKKER, Jörg. „Development of the Accident Investigation and Data Handling Methodology in the GIDAS Project“. Paper Number 09-0282. Proceedings of the 21th ESV Conference, Stuttgart, Deutschland. Stuttgart, 2009.
- SCHLICK, Christopher; BRUDER, Ralph; LUCZAK; Holger. Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Heidelberg: Springer, 2010.
- SCHOLLY, Uwe: Sicht im PKW – Evaluationsmethoden in der Praxis, Konferenzbeitrag GfA-Herbstkonferenz 2006, Sindelfingen, GfA-Press, 2006
- SCHWEIGERT, Manfred. „Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben“. Diss. München, 2003. (<http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/mw/2003/schweigert.pdf>)
- SIVAK, Michael: The information that drivers use: is it indeed 90% visual? In: *perception* 25 (1996) Nr. 9, S. 1081-1089
- SIVAK, Michael, SCHOETTLE, Brandon.; REED, Matthew P.; FLANNAGAN, Michael J.: Influence of visibility out the vehicle cabin on lane change crashes (2006) Accident Analysis and Prevention, 38 (5), pp. 969-972

-
- SIVAK, Michael, SCHOETTLE, Brandon.; REED, Matthew P.; FLANNAGAN, Michael J.: Body-pillar vision obstructions and lane-change crashes (2007) *Journal of Safety Research* , 38(5), pp. 557-561
- STORK, A. ; RIX, J.: Combining ergonomic and field-of-view analysis using virtual humans. In: SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS -SME-, Dearborn/Mich.: Computer Technology Solutions for the Manufacturing Enterprise (Hrsg.): *Computer Technology Solutions Conference (CTS)*. Detroit : 1999
- SUNDIN, Anders ; HASSELBLAD, Harald: Visibility driven design of a new modularized Volvo car top-hat structure. In: SAE BRASIL (Hrsg.): *Congresso 2008 SAE BRASIL*. 2008
- SPRENGER, Regina. „Empirische Forschungsmethoden für die Evaluation visueller Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug“. Diss. Paderborn, 2008.
- THOMAS, Edward Llewellyn. „Movements of the Eye“. *Scientific American* 219.2 (1968): 88-95.
- THOMAS, Jörn: Master-Test International –Kompaktklasse. In: *Auto Motor und Sport* Nr.02/2008, Motor Presse Stuttgart.
- TOMASCH, Ernst. „Entwicklung und systematische Verwertung einer In-Depth Datenbank tödlicher Verkehrsunfälle“. [unveröffentlicht] Diss. Graz, 2007.
- VERSACE, John: *Driver Vision - State of the Art*. Detroit, Michigan: Society of Automobile Engineers, Inc., 1970.
- VOLLRATH, Mark; BRIEST, Susanne: "Ich habe den einfach nicht gesehen" - Ursachen für menschliche Fehler bei Autounfällen. In: SCHADE, Jens ; ENGELN, Arnd (Hrsg.): *Fortschritte der Verkehrspsychologie – Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Wiesbaden : VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008, S.143-155
- WAHL, S.: Evaluation of the eye-point position of car drivers under real-typical conditions. Diplomarbeit im Fachbereich Ingenieurwissenschaften der Fachhochschule Wiesbaden, 2008.
- WILSON, M. ; STEPHENSON, S. ; CHATTINGTON, M. ; MARPLE-HORVAT, D.E.: Eye movements coordinated with steering benefit performance even when vision is denied. In: *Experimental Brain Research* 176 (2007) Nr. 3, S. 397-412
- WOYNA, L.; GLOGER, S.; BRUDER, R.: Methodische Ansätze zur Sichtbeurteilung im Fahrzeug. In: *Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten*, 56. Frühjahrskongress der GfA, 24. - 26. März 2010 in Darmstadt, Tagungsband. Dortmund: GfA-Press, S. 131-134.
- WOYNA, L.; GLOGER, S.; BRUDER, R.; SEIB, C.: Augmented Reality Seating Buck – A Validated Data Based Tool to Assess Visibility Subjectively. In: *Automobiles and Sustainable Mobility, FISITA 2010 World Automotive Congress*, May 30th – June 4th 2010 in Budapest (Hungary), Proceeding.
- WOYNA, L.; GLOGER, S.; BRUDER, R.; PREIN, D.; FOCKE, J.; ROSSMANN, P.: Der Einfluss der Sichtbeeinträchtigung durch die A-Säulen auf die Fahrzeugführung – eine Vergleichsstudie im Fahrsimulator. In *GfA Frühjahrskonferenz 2011 – Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess*. S.189-192

-
- WOYNA, L.; GLOGER, S.; RUHL, J.: Sicherheitsmaßstab Sicht – Entwicklung einer Bewertungsmethode. In: Hermann Winner, Ralph Bruder (Hrsg.): Maßstäbe des sicheren Fahrens? Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2013, ISBN- 978-3-935089-27-9 S.23-36
- YAMANAKA, Akira ; KOBAYASHI, Minoru: *Dynamic Visibility of Motor Vehicles*. Detroit, Michigan: Society of Automobile Engineers, Inc., 1970.
- YARBUS, Alfred L. Eye Movements and Vision. Übers: Haigh, Basil. New York: Plenum Press, 1967.
- ZIEDMAN, K. ; BURGER, W. J. ; SMITH R. L. SMITH - VECTOR ENTERPRISES, Inc., Santa Monica, CA: The Development of Figures of Merit for Vehicle Visibility and Conspicuity Systems. In: SAE (1987) Nr. 870349

Normen, Gesetze und Richtlinien:

ECE R125: Regelung Nr. 125 der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Sichtfeldes des Fahrzeugführers nach vorn, 2010

SAE J1050: Describing and Measuring the Driver's Field of View, Society of Automotive Engineers, 2003

FMVSS 111: FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARD No. 111 REARVIEW MIRRORS -- PASSENGER CARS, MULTIPURPOSE PASSENGER VEHICLES, TRUCKS, BUSES, SCHOOL BUSES AND MOTORCYCLES, 2004

Internetquellen

ADAC (2008):

Vielen fehlt der Durchblick. URL: <http://www1.adac.de/Tests/autotest/rundumsicht/default.asp?TL=2#atcm:8-130236>. - 16.12.2009

CONSUMER REPORTS (2010):

www.consumerreports.org/cro/cars/car-safety-reviews/mind-that-spot-1005/best-andworst/0304bli0_best-worst-rear-blind-zones.htm (letzter Zugriff: 23. Februar 2011)

CADILLAC (2013):

http://media.cadillac.com/media/us/en/cadillac/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2013/Mar/0305_a-ts-drive-visibility.html; letzter Zugriff: 13.04.2013

GDV (2007):

GDV-Unfalltypen: Leitfaden zur Bestimmung von Unfalltypen. Unfallforschung der Versicherer. Version 1.0.0. 2007. Kostenfrei erhältlich unter: <http://www.udv.de/verkehrsverhalten-undpsychologie/aktuelles/artikel/interaktiver-unfalltypenkatalog-unka-fuer-windows-pc/>, letzter Zugriff: 11.10.2010.

GOOGLE (2014): www.google.de/maps, letzter Zugriff: 26.03.2014

ÖAMTC (2008):

Todesfalle Kreuzung, URL: http://www.oamtc.at/netautor/html_seiten/Unfallforschung/kreuzungen_2008/, 09.10.2008, letzter Zugriff: 12.01.2011

JAPAN (2001):

http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29inf/124/124infdoc_10.pdf; letzter Zugriff: 13.04.2013

What car.com (2003):

URL: <http://www.whatcar.com/car-news/visibility-tests-2003/b-how-the-tests--b--were-done/178348>, letzter Zugriff: 12.12.2012

NHTSA (2009):

Rear Visibility ANPRM http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/Rear_Visibility_ANPRM_022509.pdf

Patente & Offenlegungsschriften:

DE102010035203A1: Vorrichtung und Verfahren zum Einstellen eines Sichtbereichs eines Fahrers in einem Fahrzeug, Anmelder: GM Global Technology Operations LLC (n.d.Ges.d. Staates Delaware), Mich., Detroit, US, Erfinder: Woyna, Lars, 64285, Darmstadt, DE; Schreiber, Michael, 64283, Darmstadt, DE, Veröffentlichungsdatum: 21.03.2012 <http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=DE102010035203A1>; letzter Zugriff: 13.04.2013

Studentische Arbeiten

Studienarbeiten

- PFEIFFER, J.B.: Untersuchung und Ermittlung der Blickdichteverteilung des Kraftfahrzeugführers in realtypischen repräsentativen Einzelverkehrssituationen, Studienarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2010
- PREIN, D.: Vergleichende Untersuchung der Beeinträchtigung der Fahrersicht durch die Geometrie der A-Säule anhand von Probandenversuchen im Fahrsimulator. Studienarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2010
- SANCHEZ, S.L.: Exemplarische Untersuchung der Blickdichteverteilung des Kraftfahrzeugführers in einer unfallrelevanten repräsentativen Verkehrssituation Studienarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2010

Diplomarbeiten

- MEISTER, J.: Untersuchung der Darstellungsparameter von Rückfahrkamerasystemen aus Fahrersicht zur Ergänzung oder Substitution der direkten Sicht in Rückfahrsituationen im PKW. Diplomarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2010
- RUHL, J.: Untersuchung der Sichtbeeinträchtigung von B-Säulen durch Parameterstudien im Fahrversuch, Diplomarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2010
- SEIB, C.: Validierung der Methode „Augmented Reality“ für Untersuchungen im Fahrzeug anhand einer zu konzipierenden, virtuellen Untersuchungsumgebung. Diplomarbeit am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2009

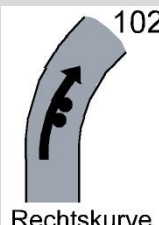

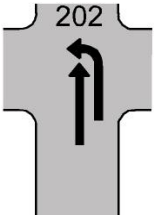
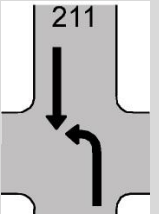
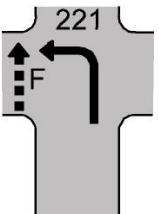
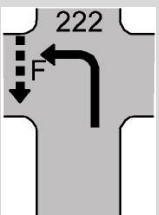
Bachelorthesis

- LANGER, I.: Evaluierung von Defiziten der Fahrersicht durch Nutzerbefragung anhand eines zu entwickelnden Fragebogens, Bachelorthesis am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2009
- FOCKE, J.: Untersuchung der Beeinträchtigung der Fahrersicht durch die Geometrie der A-Säule im Fahrsimulator. Bachelorthesis am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2009
- RIESER, P; ZÖLLER, I.: Ermittlung verkehrssituationsspezifischer Blickdichteverteilungen des Kraftfahrzeugführers in Probandenversuchen im realen Straßenverkehr. Bachelorthesis am Fachgebiet Arbeitswissenschaft (IAD) im Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2010

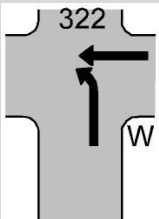
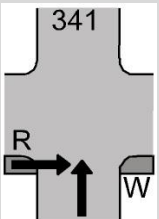
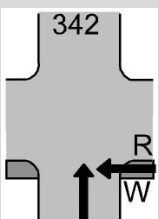
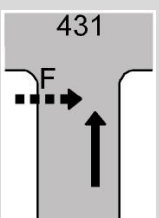
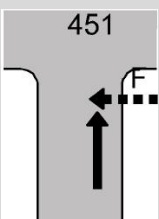
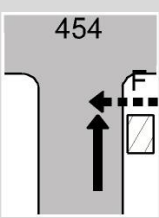
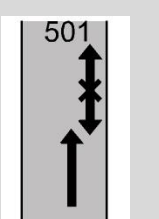
Anhang


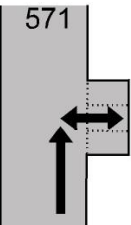



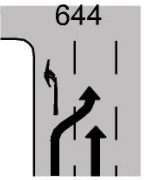

A. GIDAS-Unfalltypenbeschreibung

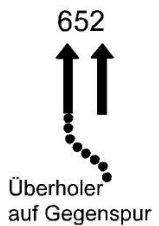
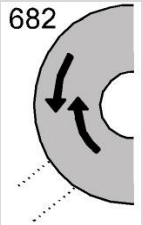
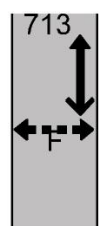
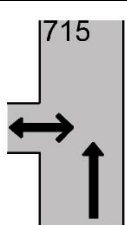

GDV-Unfalltypenklassifikation und entsprechende Verkehrssituation (grau unterlegte Typen werden dem Frontsichtbereich zugehörig gezählt).

Unfalltyp	Situation-Skizze	Straßentyp und Straßenausbau	Eigene Bewe grichtung	Gegner	Bewe grichtung des Gegners	Kommentar
102 Rechtskurve		Rechtskurve	Gerade aus	Ohne	Entfällt	Ohne mitwirkende Besonderheiten von Querschnitt und Längsneigung
121 beim Abbiegen/ Einbiegen nach links		Kreuzung	Links abbiegen	Ohne	Entfällt	Ohne mitwirkende Besonderheiten von Querschnitt und Längsneigung
202 Linksabbiegen und Nachfolgender nebeneinander		Kreuzung mit (Straßen-) Bahngleisen in der Mitte	Links abbiegen	Straßenbahn	Parallel, geradeaus	Straßenbahn kann nicht verlässlich einbezogen werden
211 Linksabbiegen und Gegenverkehr von Geradeaus		Kreuzung	Links abbiegen	Fzg.	Aus entgegengesetzter Richtung, geradeaus	
221 Linksabbiegen und die Zufahrt überquerender Fußgänger aus gleicher Richtung		Kreuzung	Links abbiegen	Fußgänger	Überqueren der Zufahrt in gleicher Richtung	Wenn möglich an Zebra-Streifen oder an Situation mit hoher Fußgängerdichte
222 Linksabbieger und die Zufahrt überquerender Fußgänger aus entgegengesetzter Richtung		Kreuzung	Links abbiegen	Fußgänger	Überqueren der Zufahrt in entgegengesetzter Richtung	Wenn möglich an Zebra-Streifen oder an Situation mit hoher Fußgängerdichte

241 Rechtsabbieger und die Zufahrt überquerender Fußgänger aus gleicher Richtung		Kreuzung	Rechts abbiegen	Fuß- gänger	Überqueren der Zufahrt in gleicher Richtung	Wenn möglich an Zebra- Streifen oder an Situation mit hoher Fußgänger- dichte
243 Rechtsabbieger und die Zufahrt überquerendes Fzg. aus gleicher Richtung		Kreuzung	Rechts abbiegen	Fahrrad	Überqueren der Zufahrt in gleicher Richtung	Fahrrad kann auf Fahrrad- weg fahren (einen gesonderter UTYP mit parallelem Fahrradweg existiert nicht)
301 Bevorrechtigter von links, Wartepflichtiger geradeaus		Kreuzung mit Wartepflicht	Gerade, Wartepflicht	Fzg.	Von links, geradeaus	
302 Bevorrechtigter von links, Wartepflichtiger links einbiegen		Kreuzung mit Wartepflicht	Links abbiegen, Wartepflicht	Fzg.	Von links, geradeaus	
303 Bevorrechtigter von links, Wartepflichtiger rechts einbiegen		Kreuzung mit Wartepflicht	Rechts abbiegen, Wartepflicht	Fzg.	Von links, geradeaus	
305 Bevorrechtigter von von links, Wartepflichtiger links auffahren		Spur zum Einfädeln	Nach links einordnen/ auffahren	Fzg.	Aus gleicher Richtung, geradeaus	
321 Bevorrechtigter von rechts, Wartepflichtiger geradeaus		Kreuzung mit Wartepflicht	Geradeaus, Wartepflicht	Fzg.	Von rechts, geradeaus	

322 Bevorrechtigter von rechts Wartepflichtiger links einbiegen		Kreuzung mit Wartepflicht	Links abbiegen, Wartepflicht	Fzg.	Von rechts, geradeaus	
341 Bevorrechtigter Radfahrer kreuzt auf Radweg von links		Kreuzung mit Wartepflicht und kreuzendem Fahrradweg	Geradeaus, orthogonal zum Fahrradweg	Fahrrad	Von links, auf Fahrradweg, geradeaus	
342 Bevorrechtigter Radfahrer kreuzt auf Radweg von rechts		Kreuzung mit Wartepflicht und kreuzendem Fahrradweg	Geradeaus, orthogonal zum Fahrradweg	Fahrrad	Von rechts, auf Fahrradweg, geradeaus	
431 überquerender Fußgänger von links vor Knoten		Anfahrt Knoten	Geradeaus, auf Knoten zu	Fußgänger	Von links, überqueren	Wenn möglich an Zebra-Streifen oder an Situation mit hoher Fußgängerdichte
451 überquerender Fußgänger von rechts vor Knoten		Anfahrt Knoten	Geradeaus, auf Knoten zu	Fußgänger	Von rechts, überqueren	Wenn möglich an Zebra-Streifen oder an Situation mit hoher Fußgängerdichte
454 überquerender Fußgänger von rechts vor Knoten mit Sichtbehinderung		Anfahrt Knoten mit Sichthindernis	Geradeaus, auf Knoten zu	Fußgänger	Von rechts, überqueren, hinter Hindernis	Wenn möglich an Zebra-Streifen oder an Situation mit hoher Fußgängerdichte, Hindernis problematisch
501 Auffahren auf parkendes Fzg., Parker auf rechten Seite		Straße zum Längsparken	Geradeaus	Fzg.	Steht, am rechten Fahrbahnrand	Enge Straße z.B. in Wohngebiet mit hoher Parkdichte

551 Anfahren, ausparken aus Längsaufstellung nach links		Straßen zum Längsparken	Nach links einordnen/ auffahren	Fzg.	Von hinten, gleiche Richtung, geradeaus	Enge Straße z.B. in Wohngebiet mit hoher Parkdichte
571 Rückwärts ausparken aus Querstellung, Gegner von rechts		Parkplatz zum Querparken	Rückwärts	Fzg.	Von rechts, geradeaus	Parkplätze sind nicht verlässlich frei in den Test-situationen, Einfahrt ebenso möglich
581 Beim Ein-/Aussteigen, Tür Richtung Fahrbahn öffnen, rechter Fahrbahnrad		Straße zum Längsparken	Fzg. steht	Fzg.	Von hinten, gleiche Richtung, geradeaus	Enge Straße z.B. in Wohngebiet mit hoher Parkdichte
631 Auffahren auf Spurwechsler nach links		Straße mit mind. zwei Fahrstreifen in eine Richtung	Geradeaus auf linkem Fahrstreifen	Fzg.	Spurwechsel nach links	Vielbefahrene zwei- oder mehrspurige Straße
635 Auffahren auf Spurwechsler nach links beim Rechts-Überholen	 nach Rechts-Überholen	Straße mit mind. zwei Fahrstreifen in eine Richtung	Geradeaus auf linkem Fahrstreifen	Fzg.	Spurwechsel nach links	Vielbefahrene zwei- oder mehrspurige Straße
644 Auffahren auf Spurwechsler nach rechts wegen Ausweichen eines Abbiegegebots	 Abbiegegebot	Straße mit mind. zwei Fahrstreifen in eine Richtung	Geradeaus auf linkem Fahrstreifen	Fzg.	Spurwechsel nach rechts	Vielbefahrene zwei- oder mehrspurige Straße
646 Auffahren auf Spurwechsler nach rechts nach Überholvorgang	 nach Überholen auf Richtungsfahrbahn	Straße mit mind. zwei Fahrstreifen in eine Richtung	Geradeaus auf linkem Fahrstreifen	Fzg.	Spurwechsel nach rechts	Vielbefahrene zwei- oder mehrspurige Straße

652 Nebeneinander fahren während Überholvorgang, Überholer auf Gegenspur	 <p>Überholer auf Gegenspur</p>	Straße mit zwei Fahrstreifen in entgegengesetzte Richtung	geradeaus	Fzg.	Auf Gegenspur geradeaus, nebeneinander	Risikoreich
682 Begegnende Fzg. in Kurve		Enge Kurve	geradeaus	Fzg.	Entgegengesetzte Richtung	
713 Kollision mit Fußgänger beim Rückwärtsfahren		Straße zum Längsparken	Rückwärts	Fußgänger	Hinter dem Fzg., quer, Straße überqueren	Längsparken und hohe Fußgängerdichte
715 Rückwärts ausfahren, Fzg. von links		Ausfahrt auf Straße	Rückwärts	Fzg.	Von Links, geradeaus	Einfahrt, die verlässlich frei ist
721 Wenden, Kollision mit nachfolgendem Fzg.		Breite Straße	U-Turn	Fzg.	Gleiche Richtung, geradeaus, von hinten	Breite, übersichtliche Straße

B. Algorithmus Blickrichtungsanalyse

funk1.m

```
function f = funk1(Gm30)
Gm30;
if Gm30>0.96 % Schwellenwert für die Kreuzkorrelation des Markers.
    % IdR bewegen sich die Werte zwischen 0,95 und 0,99.
    e(1,1)=(68)/4; % Hier muss die HÖHE des Markers angepasst werden,
    % also der Wert in der Klammer, "/4" bleibt.
    e(2,1)=(66)/4; % Hier muss die BREITE des Markers angepasst werden,
    % also der Wert in der Klammer, "/4" bleibt.
else
    e(1,1)=0;
    e(2,1)=0;
end
f=e;
```

ftranspose.m

```
function f=ftranspose(M)
Z=M;
...Z(1)=Z(1)*168/133;
...Z(2)=Z(2)*360/319;
Z=transpose(Z);
E(1,1)=Z(1);
E(2,1)=Z(2);
E(3,1)=0;
E(4,1)=0;
f=E;
```

execute_analysis.m

```
% Bevor dieses File ausgeführt werden kann muss das Simulink-Modell
% tracking.mdl ausgeführt werden. Bevor tracking.mdl gestartet wird, sollte
% in den m-files funk1.m bis funk5.m und in funkeye.m die Größe der Marker
% eingegeben werden. Ebenso sollte in diesen m-files, falls nötig, die die
% Schwellenwerte für die Kreuzkorrelation angepasst werden.
% Dieses m-file führt die Analyse der Daten und das damit verbundene
% Aufrufen der Unterprogramme selbstständig durch. Bevor es ausgeführt wird
% müssen folgende Anpassungen vorgenommen werden:
% 1. Anpassen von dx und dy für jeden Marker in compute_angles.m
% 2. Anpassen des Start- und Endzeiten der Situationen in
%    time_vector_proband#.m
% 3. Anpassen der Angabe des time_vector_P#.m in diesem File
% 4. Anpassen der Benennung der zu speichernden Histogramme und
%    zugehörigen Excel-Dateien in diesem File
% 5. Anpassen der Benennung der zu speichernden Excel-Datei
%    markerdetection_ und der m-files savefrequencies_ und savesimout
%    in diesem File
% 6. Anpassen der Anzahl der analysierten Situationen in diesem File
% 7. Hochladen der Daten des Blickpunktes in den Workspace (import
%    data)
% SAVE AND RUN execute_analysis.m
Clc % Clean command window
transform_simout_into_matrix
xlswrite('markerdetection_P01', markerdetection); % Hier die Nummer des
                                                    % aktuellen Probanden
                                                    % einfügen.
time_vector_01; % Hier die Nummer des aktuellen Probanden
                % einfügen.
st_situation=isolate_frames_of_each_situation(st, timeinitial, timeend)
for ii=1: % Hier die Anzahl an Situationen anpassen.
    coords=get_marker_coords(st_situation{ii});
    auflösung=0.25;
    coords=overwrite_fp(coords,data,auflösung);
    angles=compute_angles(coords);
    freqmatrix=compute_frequency_distribution(angles);
    savefrequencies{ii}=freqmatrix;
    % savefrequencies ist ein cell array im
    % workspace, das die Häufigkeitsverteilungen
    % aller Situationen eines Probanden speichert.
    % In den folgenden drei Zeilen wird das
    % Histogramm erzeugt und gespeichert.

    f1=figure;
    coloring3D(freqmatrix);
    saveas(gcf,['coloring3D_P01_',num2str(ii)]);
    % Hier die Nummer des aktuellen Probanden
    % einfügen.
    % In der folgenden Zeile wird die dem
    % Histogramm zugrundeliegende
    % Häufigkeitsverteilung als Excel-Datei
    % gespeichert.
    xlswrite(['freqmatrix_P01_', num2str(ii)], freqmatrix);
    % Hier die Nummer des aktuellen Probanden
```

```

                                % einfügen.
end

save('savefrequencies_P01', 'savefrequencies');           % Hier die Nummer des
                                                            % aktuellen Probanden
                                                            % einfügen.
save('savesimout_P01', 'simout');                         % Hier die Nummer des
                                                            % aktuellen Probanden
                                                            % einfügen.

```

transform_simout_into_matrix.m

```

clear st
[x y z]=size(simout.signals.values(:,:,:));
for n=1:z
    st{n}=simout.signals.values(:,:,n);                  % n entspricht der Anzahl der
                                                            % Einzelbildern des gesamten Films.
end
marker_detection;                                         % Hier wird das Programm marker_detection
                                                            % aufgerufen, dass die Markererkennung in
                                                            % jedem einzelnen Bild dokumentiert. Das
                                                            % Programm muss hier aufgerufen werden, da im
                                                            % folgenden unter st nur noch doch Daten für
                                                            % die definierten Situationen geführt werden.
                                                            % Natürlich kann die marker_detection auch nur
                                                            % für diese Situationen durchgeführt werden -
                                                            % entsprechend muss das Programm verschoben
                                                            % werden.

clear n x y z

```

marker_detection.m

```

ergebnis=zeros(n,5);
for i=1:n
    if st{1,i}(4,1)>0
        ergebnis(i,1)=1;
    end
    if st{1,i}(4,2)>0
        ergebnis(i,2)=1;
    end
    if st{1,i}(4,3)>0
        ergebnis(i,3)=1;
    end
    if st{1,i}(4,4)>0
        ergebnis(i,4)=1;
    end
    if st{1,i}(4,5)>0
        ergebnis(i,5)=1;
    end
end
markerdetection=ergebnis;

```

time_vector_proband#.m

[Beispiel eines Zeitvektors mit 20 Situationen, Zeitangabe in Sekunden]

```

timeinitial=[263,279,284,297,326,368,375,388,404,426,475,527,591,644,791,1092, 1304,1264,1384,51]
timeend=[269,283,289,302,333,373,381,394,408,435,483,533,600,655,798,1098,1315, 1274,1391,1397]

```

isolate_frames_of_each_situation.m

```

function f=isolate_frames_of_each_situation(st, timeinitial, timeend)
tini=length(timeinitial);
tend=length(timeend);
for i=1:tini
    i
    % Die Anfangs- und Endzeiten der Situationen sind in % Sekunden angegeben,
    % die Berechnung verwendet aber
    % die einzelnen Frames (Bilder) des Films. Bei einer % Rate von 25 Bildern
    % pro Sekunde muss die Zeitangabe % in Sekunden mit 25 multipliziert werden.

    frame_anfang=timeinitial(i)*25;
    frame_ende=timeend(i)*25;
    i3=1;
    for i2=frame_anfang:frame_ende
        erg{i3}= st{i2};
        i3=i3+1;
    end
    ergebnis{i}=erg;
end
f=ergebnis;

```

get_marker_coords.m

```

function f=get_marker_coords(st)
[x,y]=size(st);
for n=1:y
    M=st{n}
    ma=0;
    mm30=0;
    m0=0;
    m30=0;
    m60=0;
    m90=0;
    xmm30=0;
    ymm30=0;
    xm0=0;
    ym0=0;
    xm30=0;
    ym30=0;
    xm60=0;
    ym60=0;
    xm90=0;
    ym90=0;
    if M(3,1)~=0
        ma=ma+1;
        mm30=1;
        xmm30=M(1,1)+M(3,1)/2;
        ymm30=M(2,1)+M(4,1)/2;
    end
    if M(3,2)~=0
        ma=ma+1;
        m0=1;
        xm0=M(1,2)+M(3,2)/2;
        ym0=M(2,2)+M(4,2)/2;
    end
    if M(3,3)~=0
        ma=ma+1;
        m30=1;
        xm30=M(1,3)+M(3,3)/2;
        ym30=M(2,3)+M(4,3)/2;
    end
    if M(3,4)~=0
        ma=ma+1;
        m60=1;
        xm60=M(1,4)+M(3,4)/2;
        ym60=M(2,4)+M(4,4)/2;
    end
    if M(3,5)~=0
        ma=ma+1;
        m90=1;
        xm90=M(1,5)+M(3,5)/2;
        ym90=M(2,5)+M(4,5)/2;
    end
    e(1)=ma;
    e(2)= mm30;
    e(3)= m0;
    e(4)=m30;
    e(5)=m60;
    e(6)=m90;
    e(7)=xmm30;
    e(8)=ymmm30;
    e(9)=xm0;
    e(10)=ym0;
    e(11)=xm30;
    e(12)=ym30;
    e(13)=xm60;
    e(14)=ym60;
    e(15)=xm90;
    e(16)=ym90;
    e(17)=0;
    e(18)=0;
    if M(3,6)~=0
        e(17)=M(1,6)+M(3,6)/2;
        e(18)=M(2,6)+M(4,6)/2;
    end
    erg{n}=e;
end
f=erg;

```

overwrite_fp.m

```

function f=overwrite_fp(coords,data,auflosung);
[x,y]=size(coords)
for index=1:y
    minindex=min(find(data(:,16)==index))
    maxindex=max(find(data(:,16)==index))
    y1=data(minindex,9);
    x1=data(minindex,10);
    y2=data(maxindex,9);
    x2=data(maxindex,10);

```

```

y=(y1+y2)/2;
x=(x1+x2)/2;
coords{index}(1,17)=x*auflosung;
coords{index}(1,18)=y*auflosung;
end
f=coords

```

compute_angles.m

```

function f=compute_angles(coords)
[a z]=size(coords);
nm=5;
for ind=1:z
    ind;
    e=[0 0 0];
    k=coords{ind};
    dx(1)=(182)/4;           % Hier sind für jeden Marker die dx-Werte
    dx(2)=(201)/4;           % einzutragen, wobei dabei der Pixelwert
    dx(3)=(205)/4;           % in der Klammer eingetragen wird.
    dx(4)=(159)/4;           % Die Angabe "/4" bleibt unverändert.
    dx(5)=(127)/4;
    cz=45/188;
    alpha0=cz.*dx;
    beta0(1)=(-659)*45/752;  % Hier sind für jeden Marker die dy-Werte
    beta0(2)=(-166)*45/752;  % einzutragen, wobei dabei der Pixelwert
    beta0(3)=(97)*45/752;    % in der Klammer eingetragen wird.
    beta0(4)=(525)*45/752;    % Die Angabe "*45/752" bleibt unverändert.
    beta0(5)=(786)*45/752;
    if k(1)~=0&&k(17)~=0
        n=k(1);
        f=find(k(2:6)==1);
        for i=1:n
            x(i)=k(f(i)*2+5);
            y(i)=k(f(i)*2+6);
        end;
        xp=k(nm+nm*2+2);
        yp=k(nm+nm*2+3);
        ab=(x-xp).^2+(y-yp).^2;
        in=f(find(ab==min(ab)));
        in;
        clear x y;
        xm=k(in*2+5);
        ym=k(in*2+6);
        alpha=cz*(xm-xp);
        beta=cz*(yp-ym);
        alpha=alpha-alpha0(in);
        beta=beta+beta0(in);
        e=[ 1 beta alpha];
    end
    erg{ind}=e;
end
f=erg;

```

compute_frequency_distribution.m

```

function f=compute_frequency_distribution(a)
[x,y]=size(a)
erg=zeros(14,38);
for i=1:y
    v=a{i};
    if v(1)==1
        if v(3)<-30
            st=14;
        end
        if v(3)>=-30 && v(3)<-25
            st=13;
        end
        if v(3)>=-25 && v(3)<-20
            st=12;
        end
        if v(3)>=-20 && v(3)<-15
            st=11;
        end
        if v(3)>=-15 && v(3)<-10
            st=10;
        end
        if v(3)>=-10 && v(3)<-5
            st=9;
        end
        if v(3)>-5 && v(3)<0
            st=8;
        end
        if v(3)>=0 && v(3)<5
            st=7;
        end
        if v(3)>=5 && v(3)<10

```

```

        st=6;
    end
    if v(3)>=10 && v(3)<15
        st=5;
    end
    if v(3)>=15 && v(3)<20
        st=4;
    end
    if v(3)>=20 && v(3)<25
        st=3;
    end
    if v(3)>25 && v(3)<30
        st=2;
    end
    if v(3)>30
        st=1;
    end
    if v(2)<-90
        sut=1;
    end
    if v(2)>=-90 && v(2)<-85
        sut=2;
    end
    if v(2)>=-85 && v(2)<-80
        sut=3;
    end
    if v(2)>=-80 && v(2)<-75
        sut=4;
    end
    if v(2)>=-75 && v(2)<-70
        sut=5;
    end
    if v(2)>=-70 && v(2)<-65
        sut=6;
    end
    if v(2)>=-65 && v(2)<-60
        sut=7;
    end
    if v(2)>=-60 && v(2)<-55
        sut=8;
    end
    if v(2)>=-55 && v(2)<-50
        sut=9;
    end
    if v(2)>=-50 && v(2)<-45
        sut=10;
    end
    if v(2)>=-45 && v(2)<-40
        sut=11;
    end
    if v(2)>=-40 && v(2)<-35
        sut=12;
    end
    if v(2)>=-35 && v(2)<-30
        sut=13;
    end
    if v(2)>=-30 && v(2)<-25
        sut=14;
    end
    if v(2)>=-25 && v(2)<-20
        sut=15;
    end
    if v(2)>=-20 && v(2)<-15
        sut=16;
    end
    if v(2)>=-15 && v(2)<-10
        sut=17;
    end
    if v(2)>=-10 && v(2)<-5
        sut=18;
    end
    if v(2)>=-5 && v(2)<0
        sut=19;
    end
    if v(2)>=0 && v(2)<5
        sut=20;
    end
    if v(2)>=5 && v(2)<10
        sut=21;
    end
    if v(2)>=10 && v(2)<15
        sut=22;
    end
    if v(2)>=15 && v(2)<20
        sut=23;
    end
    if v(2)>=20 && v(2)<25
        sut=24;
    end
end

```

```

        if v(2)>=25 && v(2)<30
            sut=25;
        end
        if v(2)>=30 && v(2)<35
            sut=26;
        end
        if v(2)>=35 && v(2)<40
            sut=27;
        end

        if v(2)>=40 && v(2)<45
            sut=28;
        end
        if v(2)>=45 && v(2)<50
            sut=29;
        end
        if v(2)>=50 && v(2)<55
            sut=30;
        end
        if v(2)>=55 && v(2)<60
            sut=31;
        end
        if v(2)>=60 && v(2)<65
            sut=32;
        end
        if v(2)>=65 && v(2)<70
            sut=33;
        end
        if v(2)>=70 && v(2)<75
            sut=34;
        end
        if v(2)>=75 && v(2)<80
            sut=35;
        end
        if v(2)>=80 && v(2)<85
            sut=36;
        end
        if v(2)>=85 && v(2)<90
            sut=37;
        end
        if v(2)>=90
            sut=38;
        end;
        erg(st,sut)=erg(st,sut)+1;
    end
end
erg=erg./sum(sum(erg));
f=erg;

```

coloring3D.m

```

function coloring3D(freqmatrix)
h = bar3(freqmatrix);
s=size(freqmatrix);
row=s(1);
column=s(2);
for i = 1:column
    zdata = ones(6*row,4);
    k = 1;
    for j = 0:6:(6*row-6)
        zdata(j+1:j+6,:) = freqmatrix(k,i);
        k = k+1;
    end
    set(h(i),'Cdata',zdata)
end
colormap jet
colorbar
xlabel('angle \beta');
ylabel('angle \alpha');
zlabel('frequency');
set(gca,'XTick', 1:6:37);
set(gca,'XTickLabel',{'<-90','-65<b<-60','-35<b<-30','-5<b<0','25<b<30','55<b<60','85<b<90'});
set(gca,'YTick', 1:4:13);
set(gca,'YTickLabel',{'25<a<30','10<a<15','-10<a<-5','-30<a<-25'});
set(gca,'ZTick', 0.1:0.2:0.9);
set(gca,'ZTickLabel',{'0.1','0.3','0.5','0.7','0.9'});

```

createcolorbar.m

```

function createcolorbar(axes1)
colorbar('peer',axes1);

```

C. Probandenfragebogen Blickdichteverteilung in Anlehnung an Rieser & Zöllner (2011)

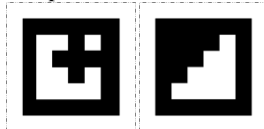
Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens:

- Der Großteil der gestellten Fragen ist so formuliert, dass jeweils eine der vorgegebenen Antwortmöglichkeiten anzukreuzen ist:
☐ weiblich ☐ männlich
- Bei einigen Fragen ist die Antwort selbst zu formulieren; hierbei kann es sich – je nach Fragentyp – um Zahlen- oder Textangaben handeln wie z.B.:
_____Jahre
- Um Fragen zu kommentieren oder ausführliche Antworten zu geben, sollte die letzte Seite des Fragebogens oder ggf. ein zusätzliches Blatt Papier verwendet werden.
- Das gräulich hinterlegte Kästchen zu Beginn der folgenden Seite ist nicht durch die Befragungspersonen selbst, sondern durch den Moderator auszufüllen.
- Die Befragungspersonen werden gebeten, vor Beginn der Fragenbeantwortung die unten stehenden Begriffserklärungen durchzulesen. Die dort aufgeführten Begriffe werden im Laufe des Fragebogens angewendet und sind entsprechend dieser Definitionen auszulegen.

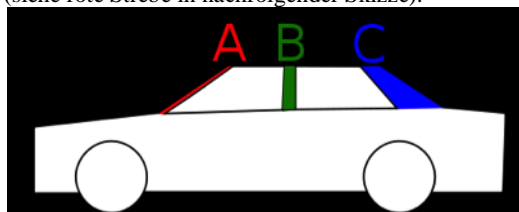
Begriffserklärung:

Proband: (Frage A7)
Unter einem Probanden soll im Rahmen dieses Fragebogens ein passives Objekt einer wissenschaftlichen Prüfung verstanden werden, der er beispielhaft unterzogen wird. Das kann eine Messung, ein Experiment, eine Befragung, eine medizinische Untersuchung oder anderweitigen Bewertung sein, in deren Rahmen er als Element einer Stichprobe herausgegriffen wurde, um in einer Untersuchung bestimmte Hypothesen zu überprüfen

Marker: (Frage FV3)
Als Marker bezeichnet man die rechteckigen schwarz-weißen Blättchen, welche im Fahrzeug-Frontbereich in gleichen Abständen um den Fahrersitz angeordnet sind. Sie dienen als Hilfsmittel zur späteren Datenauswertung (siehe Abbildung).



A-Säule: (Fragen FV4, FV5)
Die A-Säule ist im Kraftfahrzeugbau die Verbindung zwischen Fahrzeugdach und der vorderen Spritzwand (siehe rote Strebe in nachfolgender Skizze).



(Auszufüllen durch den Moderator)

Datum: _____._____.2010

Start: ____:____ Uhr Ende: ____:____ Uhr

Wetterlage: ☐ Gewitter ☐ Regen ☐ Nebel ☐ Schnee ☐ Glätte ☐ Straßennässe
 ☐ bewölkt ☐ wechselhaft ☐ Sonnenschein

Tageszeit: ☐ Tag ☐ Dämmerung ☐ Nacht

Verkehrsaufkommen: ☐ gering ☐ durchschnittlich ☐ hoch

A1	Geschlecht:	<input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich
A2	Alter:	_____ Jahre
A3	Körpergröße:	_____ cm
A4	Wohnort:	_____
A5	Benötigen Sie eine Sehhilfe beim Autofahren?	<input type="checkbox"/> nein, weder Brille noch Kontaktlinsen <input type="checkbox"/> ja, Kontaktlinsen der Stärke: _____ Dioptrien
A6	Beruf:	_____
A7	Sind Sie schon einmal in irgendeiner Form als Proband tätig gewesen?	<input type="checkbox"/> ja, Thema der wissenschaftl. Arbeit: _____ _____ <input type="checkbox"/> nein
A8	Waren Sie während der Versuchsfahrt nervös?	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> trifft überhaupt nicht zu <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 </div> <div> trifft voll & ganz zu <input type="checkbox"/> 5 </div> </div>
A9	Waren Sie vor oder während der Versuchsfahrt müde?	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> trifft überhaupt nicht zu <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 </div> <div> trifft voll & ganz zu <input type="checkbox"/> 5 </div> </div>

Ihre persönliche Fahrerfahrung

F1	Seit wie vielen Jahren fahren Sie PKW?	_____ Jahre
F2	Ihre jährliche Fahrleistung mit dem PKW beträgt:	<input type="checkbox"/> 0 bis unter 5.000 km <input type="checkbox"/> 5.000 bis unter 10.000 km <input type="checkbox"/> 10.000 bis unter 20.000 km <input type="checkbox"/> 20.000 bis unter 30.000 km <input type="checkbox"/> 30.000 bis unter 40.000 km <input type="checkbox"/> über 40.000 km
F3	Welche Fahrerlaubnis-Klassen besitzen Sie?	<input type="checkbox"/> Motorrad <input type="checkbox"/> PKW <input type="checkbox"/> LKW <input type="checkbox"/> Bus <input type="checkbox"/> Sonder-Klassen: _____
F4	Würden Sie sich selbst als erfahrenen PKW-Fahrer bezeichnen?	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>trifft überhaupt nicht zu</div> <div>trifft voll & ganz zu</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 </div>
F5	Wie gut kennen Sie die von Ihnen gefahrenen Strecken in der Regel?	<input type="checkbox"/> Die Strecken sind mir gut bekannt. <input type="checkbox"/> Die Strecken sind mir etwas bekannt. <input type="checkbox"/> Die Strecken sind mir nicht bekannt.
F6	Welche zeitliche Verteilung ergibt sich bei Ihren PKW- Fahrten bzgl. der Straßenart?	Stadt: _____ % Landstraße: _____ % Autobahn: _____ %
F7	Wie lange dauert eine PKW-Fahrt von Ihnen durchschnittlich?	<input type="checkbox"/> unter 15 Minuten <input type="checkbox"/> 15 bis unter 30 Minuten <input type="checkbox"/> 30 bis unter 45 Minuten <input type="checkbox"/> 45 bis unter 60 Minuten <input type="checkbox"/> über 60 Minuten

Ihre persönliche Fahrzeugerfahrung

FZ1	Welche PKWs fahren Sie regelmäßig, also mindestens einmal wöchentlich? (Angabe: Hersteller/Modell)	1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____
FZ2	Wie oft fahren Sie mit einem neuen PKW, mit dem Sie zuvor noch nie gefahren sind?	<input type="checkbox"/> mehrmals pro Woche <input type="checkbox"/> mehrmals pro Monat <input type="checkbox"/> mehrmals pro Jahr <input type="checkbox"/> seltener oder nie

FZ3	Fällt es Ihnen leicht sich auf neue/unbekannte PKWs einzustellen?	trifft überhaupt nicht zu <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 trifft voll & ganz zu
-----	---	--

Fragen zu Ihrer Versuchsfahrt

FV1	Wie gut war Ihnen die durchfahrene Strecke bekannt?	überhaupt nicht bekannt <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 sehr gut bekannt
FV2	Hat Sie der Helm bei der Fahrt negativ beeinträchtigt oder gestört?	ja, die ganze Zeit <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 überhaupt nicht
FV3	Haben Sie die Marker im Fahrzeug bei der Fahrt negativ beeinträchtigt oder gestört?	ja, die ganze Zeit <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 überhaupt nicht
FV4	Hat Sie die A-Säule bei der Fahrt in Ihrer Sicht behindert oder gestört?	ja, die ganze Zeit <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 überhaupt nicht
FV5	In welchen zwei Verkehrssituationen während der Fahrt hat Sie die A-Säule am stärksten gestört? (Angabe: Situations-Nr. laut Streckenplan)	1. _____ 2. _____

D. Probandenkollektiv der Hauptversuchsreihe zur Ermittlung der Blickdichteverteilung

Tabelle D.1: Übersicht des Probandenkollektivs der Untersuchung der Blickdichteverteilung

Nr.:	Geschl. [m/w]	Alter [a]	Führerschein- besitz [a]	Fahrleistung (Mittel) [km/a]	Fahrerfahrung [km]	Wohnort	Orts- Kenntnis	Körpergröße [cm]	Augpunkt- (x-Achse) [mm]	Augpunkt-lage
1	m	24	6	35.000	210.000	Wächtersbach	ja	170	3064	vorn
2	w	23	5	25.000	125.000	DA	ja	170	2992	vorn
3	m	23	5	7.500	37.500	DA	ja	188	3103	hinten
4	m	25	7	15.000	105.000	DA	ja	184	3128	hinten
5	m	24	6	7.500	45.000	Roßdorf	ja	184	3113	hinten
6	m	30	12	2.500	30.000	Rodgau	nein	180	3139	hinten
7	w	23	5	15.000	75.000	DA	ja	166	3060	vorn
8	m	23	5	25.000	100.000	DA	nein	186	3145	hinten
9	m	22	4	2.500	10.000	Groß-Umstadt	ja	175	3145	hinten
10	w	23	5	15.000	75.000	Bad Orb	nein	170	3008	vorn
11	m	26	7	25.000	175.000	Bad Orb	nein	181	3087	hinten
12	w	30	12	15.000	180.000	Offenbach	nein	168	2967	vorn
13	w	50	32	2.500	80.000	DA	ja	165	3066	vorn
14	m	55	37	>40.000	>1480.000	DA	ja	183	3090	hinten
15	m	41	23	>40.000	>920.000	Röder-mark	nein	185	3160	hinten
16	m	29	11	35.000	385.000	Hörsbach	ja	183	3130	hinten
17	w	23	5	2.500	12.500	DA	nein	170	3047	vorn
18	m	26	8	>40.000	>320.000	Seligen-stadt	nein	174	3116	hinten
19	m	23	5	7.500	37.500	DA	ja	192	3100	hinten
20	w	23	3	2.500	7.500	Heppenheim	nein	160	2983	vorn
21	m	53	34	>40.000	>1360.000	Seligen-stadt	nein	> 180	3090	hinten
22	m	29	11	15.000	165.000	Heppenheim	nein	176	3121	hinten
24	w	25	5	7.500	37.500	Roßdorff	nein	165	3032	vorn
25	m	27	4	25.000	100.000	DA	nein	182	3103	hinten
27	m	25	7	15.000	105.000	DA	nein	186	3137	hinten
28	m	25	7	7.500	52.500	DA	ja	182	3065	vorn
29	w	28	10	25.000	250.000	DA	ja	163	3050	vorn
30	m	26	8	15.000	120.000	DA	ja	172	3032	vorn
31	m	28	11	2.500	27.500	DA	ja	178	3052	vorn
32	m	19	1,5	7.500	11.250	DA	ja	174	3099	hinten
33	m	19	1,5	2.500	3.750	DA	ja	189	3143	hinten
34	m	27	9	>40.000	>360.000	Westhofen	ja	180	3120	hinten
35	m	20	2	7.500	15.000	DA	ja	195	3205	hinten
36	m	31	13	35.000	455.000	Hoch-hausen	nein	174	3025	vorn
37	m	23	5	25.000	125.000	Jossgrund	nein	183	3130	hinten
38	w	48	30	25.000	750.000	Jossgrund	nein	163	3028	vorn
39	w	19	2	25.000	50.000	Lettgen-brunn	nein	164	3045	vorn
40	m	32	12	7.500	90.000	DA	ja	172	3085	hinten
41	w	24	6	2.500	15.000	Roßdorf	ja	170	2962	vorn
42	m	25	7	2.500	17.500	DA	nein	176	3053	vorn
43	w	20	2,5	15.000	37.500	Bad Orb	nein	174	3063	vorn
44	m	24	6	35.000	210.000	Wächtersbach	nein	180	3132	hinten

E. Situationsspezifische Blickdichteverteilungen zur Überlagerung

GDV-Unfalltyp 302

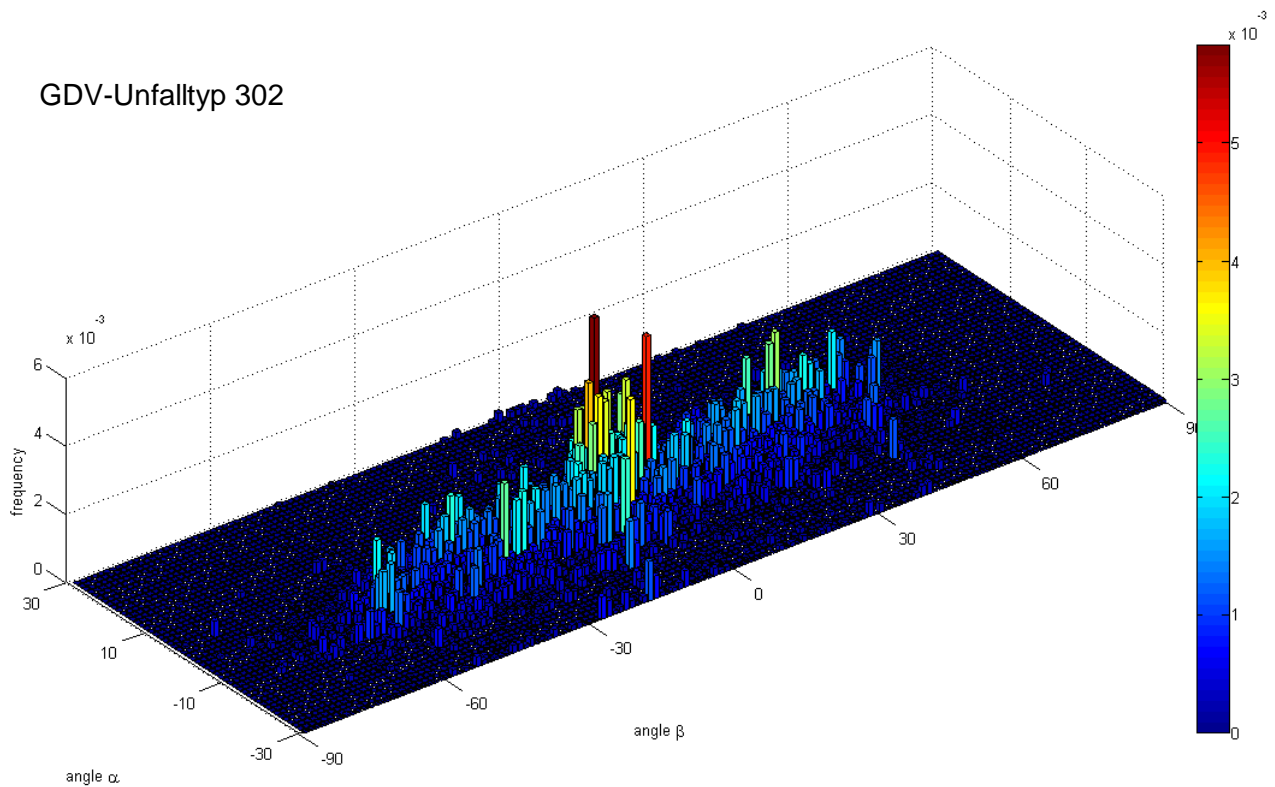


Abbildung F.1: Heatmap der Blickdichteverteilung aller Probanden für die Situationen, die mit GDV Unfalltyp 302 assoziiert sind. Relative Häufigkeit aufgetragen über Azimut- und Elevationswinkel (α und β in $^\circ$)

GDV-Unfalltyp 321

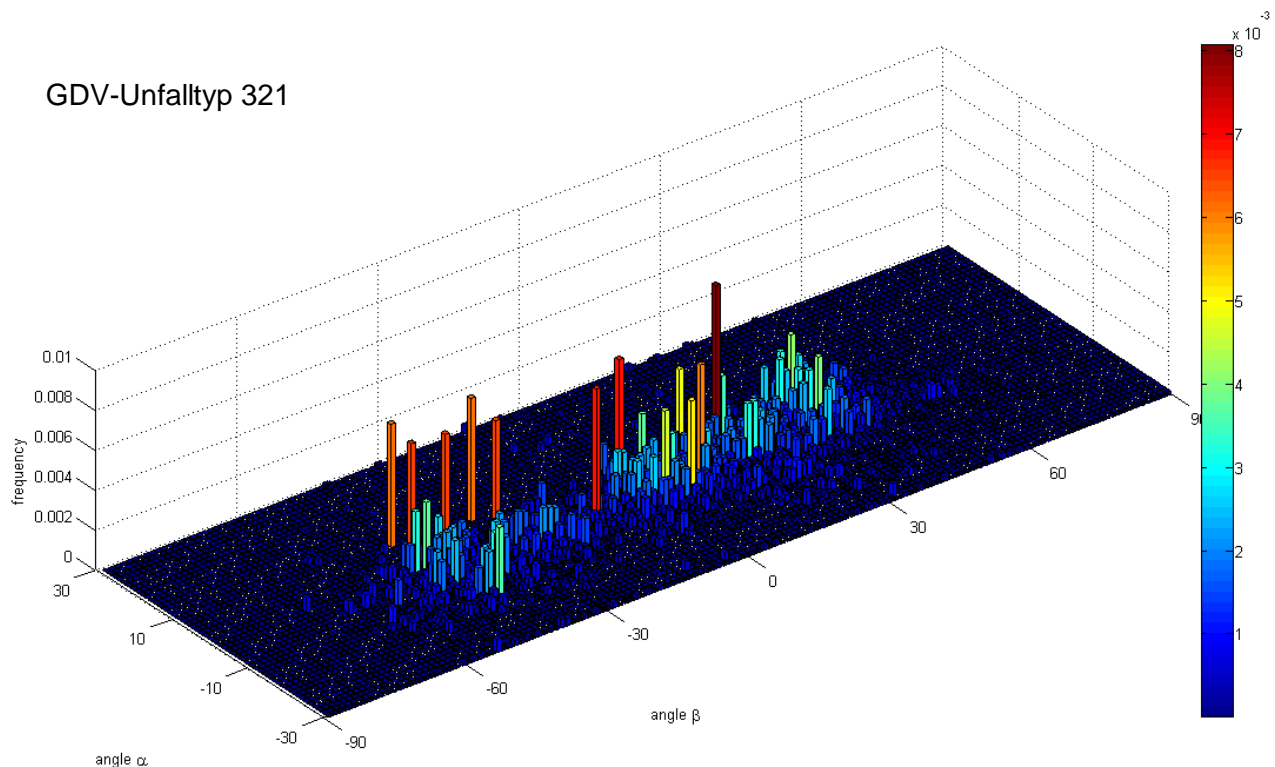


Abbildung F.2: Heatmap der Blickdichteverteilung aller Probanden für die Situationen, die mit GDV Unfalltyp 321 assoziiert sind. Relative Häufigkeit aufgetragen über Azimut- und Elevationswinkel (α und β in $^\circ$)

F. Gesamtblickdichteverteilung durch Überlagerung der situationsspezifischen Verteilungen

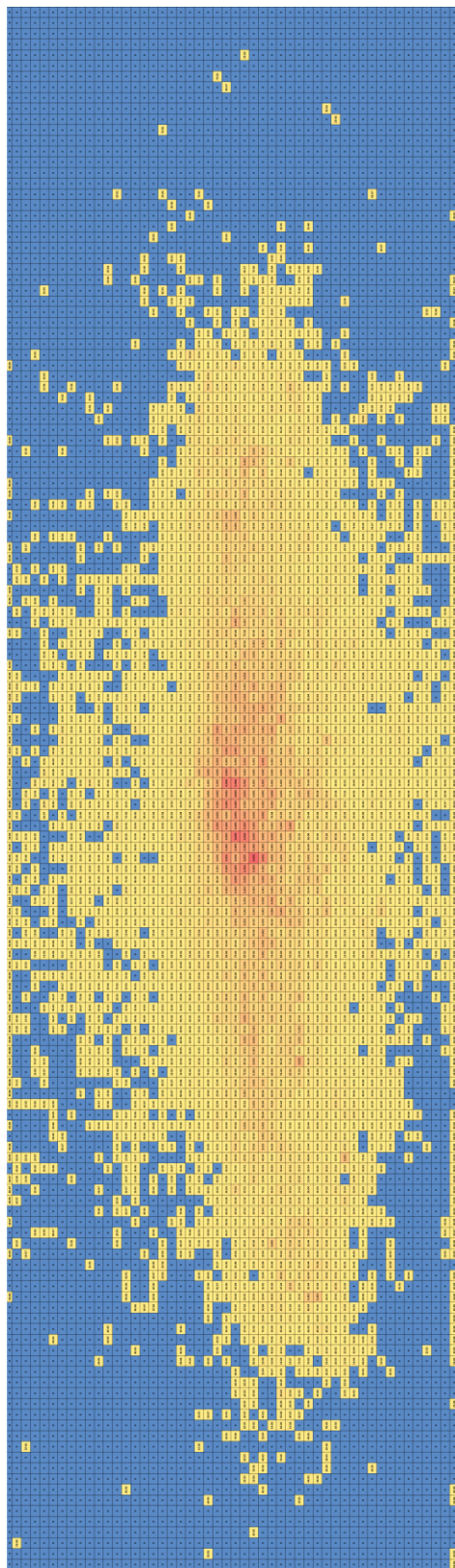


Abbildung G.1: Gesamt-Blickdichteverteilung unter Angabe der einzelnen prozentualen Gewichte je Zelle (Summe über alle Zellen = 100%). 1,25x1,25° je Flächenelement. Horizontale Ausdehnung des analysierten Sichtbereichs: $\pm 90^\circ$, Vertikalausdehnung $\pm 30^\circ$

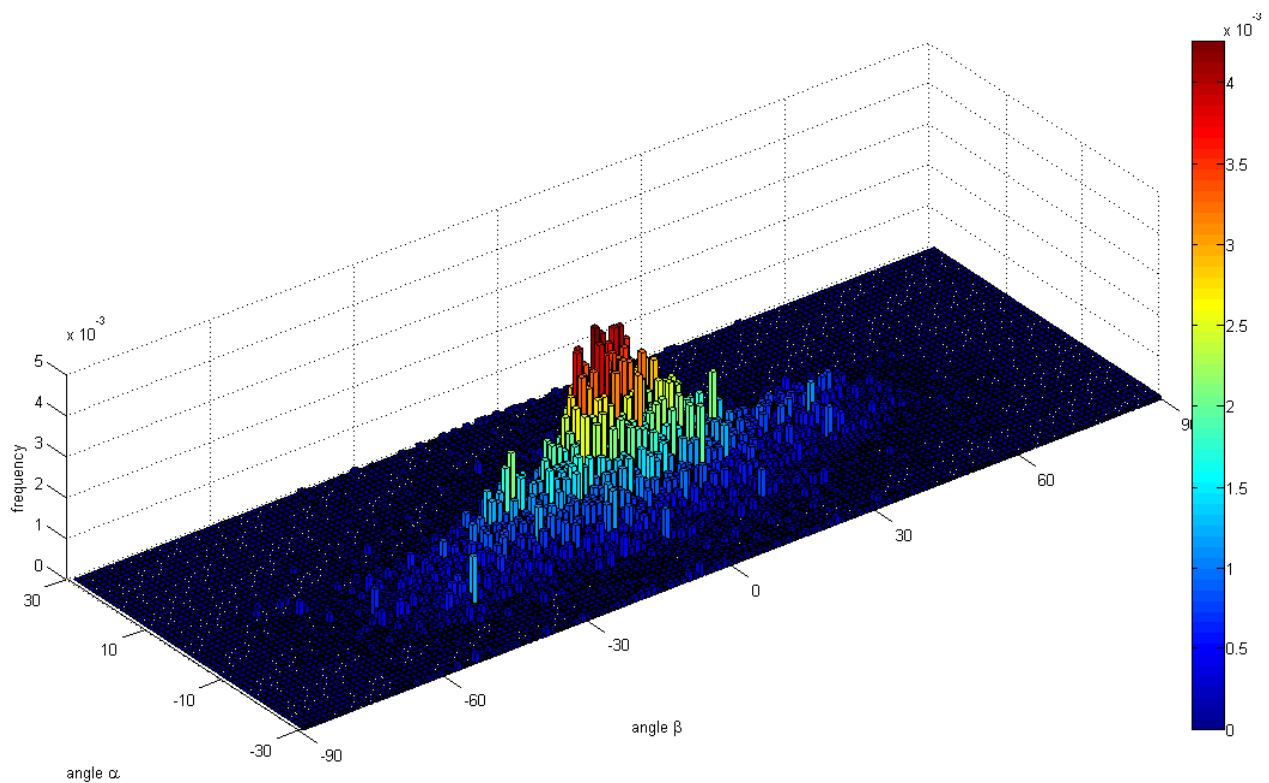


Abbildung G.2: Gewichtet Superpositionierte Heatmap aller erhobenen Blickdichteverteilungen (N=2173 Einzelheatmaps). Relative Häufigkeit aufgetragen über Azimut- und Elevationswinkel (α und β in $^{\circ}$)

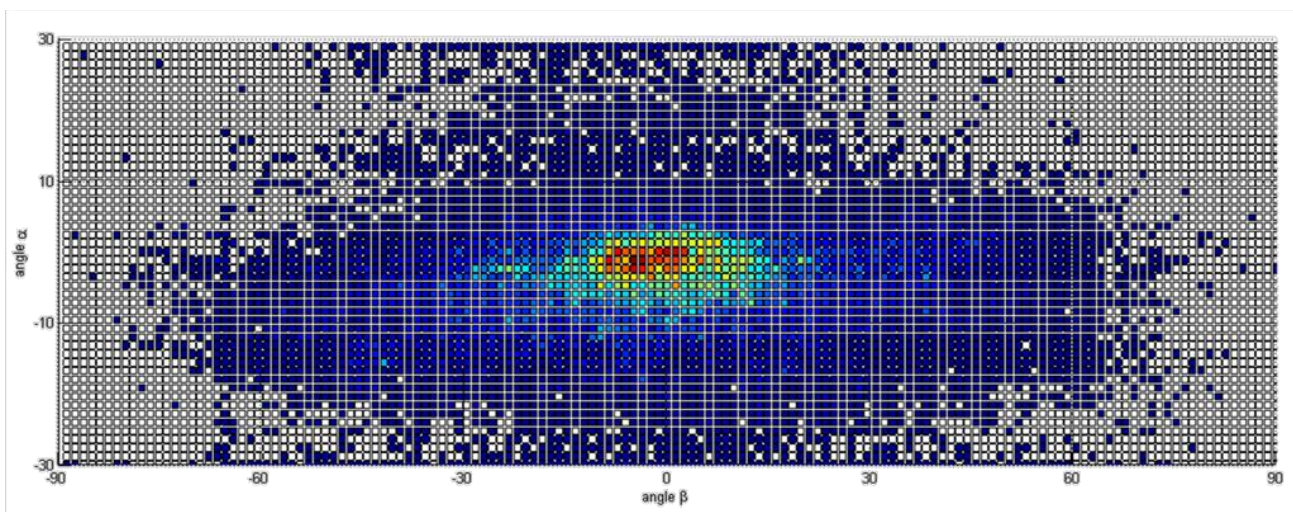


Abbildung G.3: Draufsicht auf superpositionierte Heatmap aller erhobenen Blickdichteverteilungen (N=2173 Einzelheatmaps). Relative Häufigkeit aufgetragen über Azimut- und Elevationswinkel (α und β in $^{\circ}$)

G. Exemplarische Anwendung der Frontsichtbeurteilung



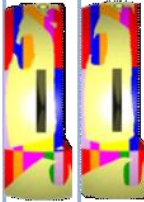

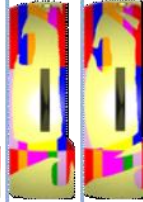

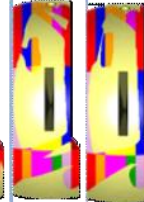


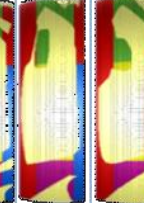


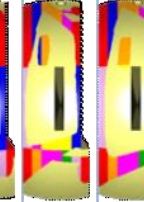
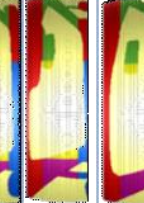


Nr.	Fahrzeugklasse, A-Sünden-Konzept	Schattenwurf 15-Feld-Methode	Sichtergebnis nach 15-Feld-Methode	Schattenwurf 9-Feld-Methode	Sichtergebnis nach 9-Feld-Methode	Sichtergebnis gleichgewichtet	subjektives Beurteilungsergebnis	
B	Compact 5-Türer, A/A2-Scale		65,82%		72,23%	53,46%	6,66	3400
C	Compact Coupe 3-Türer, A/A2-Scale		66,79%		72,35%	52,73%	6,79	3401
G	Compact SUV, architektonische A-Scale		68,00%		76,25%	49,53%	6,57	GMT172
D	Compact MPV (mini-Van), Doppelte A-Skalen		73,16%		72,67%	55,59%	7,37	3470
E	Mittelklasse Limousine, architektonische A-Scale		73,93%		73,43%	55,07%	7,24	3700
I	Compact 5-Türer, architektonische A-Scale		74,25%		76,77%	60,22%	7,26	Focus HB5
L	Sub-Compact MPV, einfache A-Scale & einfacher Frontanstrich		75,60%		77,95%	61,98%	7,55	4470
O	Compact SUV, architektonische A-Scale		86,61%		79,97%	60,48%	7,47	TIGUAN

Abbildung A.1: Übersichtstabelle der mittels blickdichtebasierten Schattenwurf-Verfahren beurteilten Fahrzeuge. Im Vergleich Ergebnisse nach Scholly-Gewichtung, Auswertung mit homogener Feldgewichtung, Ergebnisse aus der dynamischen subjektiven Beurteilung

H. Fahrstrecke GME-Visibility Driving Clinic

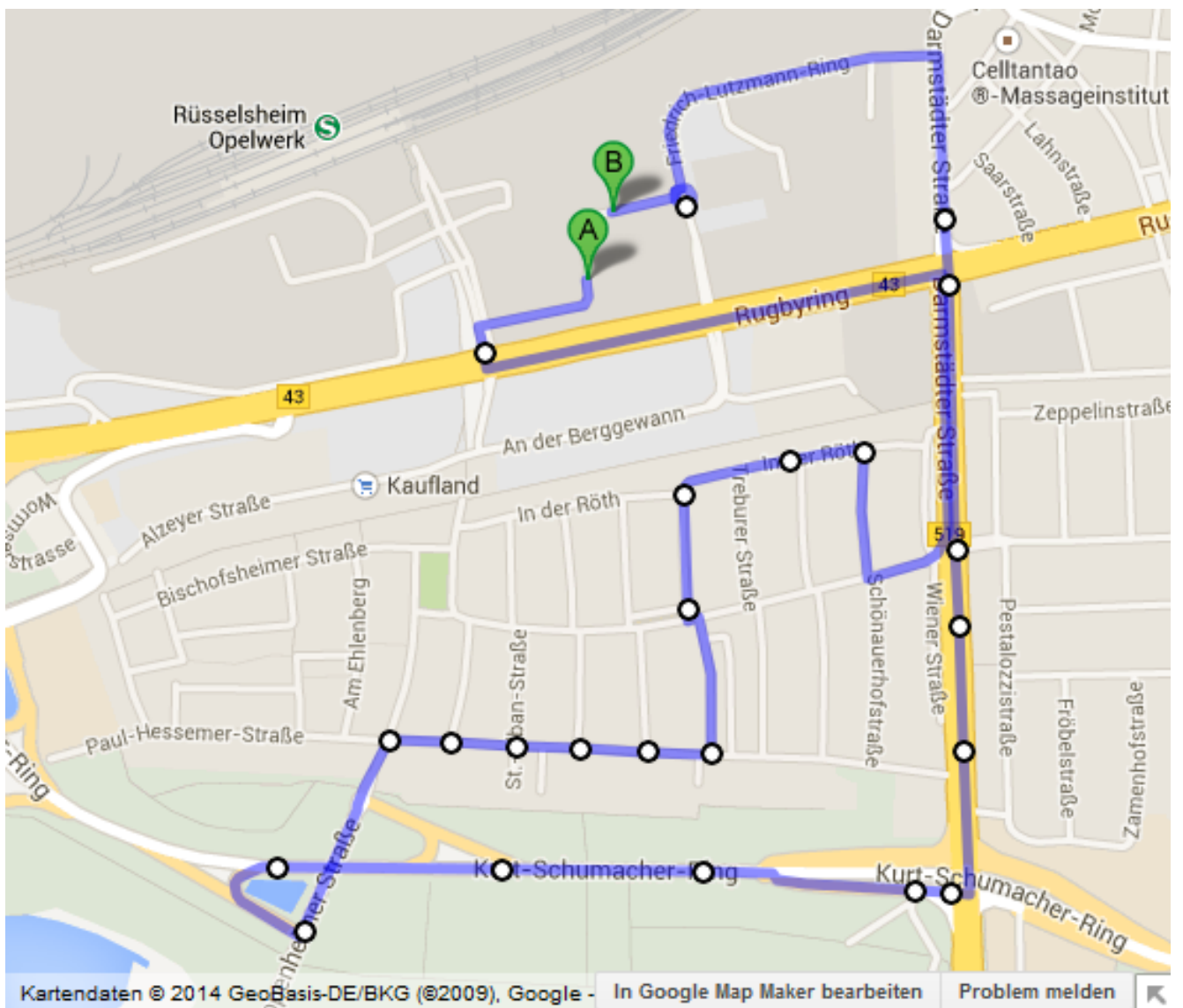


Abbildung A.2: Teststrecke der GME-internen Visibility Driving Clinic. Jeder Punkt markiert eine Verkehrs- bzw. Beurteilungssituation. Start: A; Ende: B (Kartendarstellung unter Verwendung von Google Maps).



Untersuchung von Sichtbeeinträchtigung der B-Säule durch Parameterstudien im Fahrversuch

I. Fragebogen für die dynamische B-Säulen-Beurteilung

Versuchsfahrt: Sichtwinkel der B-Säule [°] Sichtbeeinträchtigung der B-Säule durch:

Nr. / No.	Piktogramm	Situation/ Situation	Anz.	Zu weit vorne	Zu breit	Zu nah (Raumgefühl)	Kopfstütze störend	Konstr. störend	Zu weit hinten	Muss mich zu weit drehen	PP-Rating	Notiz / Comment
1		Spitze Einmündung	1x									
2		Spurwechsel Innerorts	Ca. 4x									
3		Einordnen Innerorts	2x									
4		Beschleunigungsstreifen	1x									
5		Spurwechsel Autobahn	1x									
6		Schneller Rechtsabbieger	2x									
Welche Situation war am problematischsten?												
Winkel:												
Winkel:												
Winkel:												
Gesamteindruck												
Σ												



Untersuchung von Sichtbeeinträchtigung der B-Säule durch Parameterstudien im Fahrversuch

Statische Tests: Sichtwinkel der B-Säule

Nr. / No.	Sichtwinkel	Koordinaten	Zu weit vorne	Zu breit	Zu nah (Raumgefühl)	Kopfstütze störend	Konstruktion störend	Muss mich zu weit drehen	Zu weit hinten	PP-Rating	Notiz / Comment
1	26°										
2	23°										
3	20°										
4	17°										
5	14°										
6	11°										
7	8°										
		Wunschsaule									

K. Einzel Ergebnisse der B-Säulen-Beurteilung

Tabelle A.1: Beurteilungsergebnisse der B-Säulen-Parametervergleichsstudie. Aufgeschlüsselt nach statischer, dynamischer, aggregierter Ergebnisteilmenge sowie für das ursprüngliche und das korrigierte Probandenkollektiv.

N = 30								N = 25							
gesamtes, ursprüngliches Kollektiv								korrigiertes Kollektiv							
statisch	26	23	20	17	14	11	8	statische Bewertung	26	23	20	17	14	11	8
6,5	6,5	7,5	6	6	6	6	5,5	6,5	6,5	7,5	6	6	6	6	5,5
6,5	7,5	6,5	6,5	5,5	6,5	7	7	6,5	7,5	6,5	6,5	5,5	6,5	6,5	7
7,5	7,5	5	6	6,5	4	7	7	7,5	7,5	5	6	6,5	4	7	7
7	6,5	7	7	5,5	7	7	7	7	6,5	7	7	5,5	7	7	7
7	7	6,5	6	7	6	6,5	6,5	7	7	6,5	6	7	6	6	6,5
6,5	6	6	7	5	5	4	4	6,5	6	7	7	5	7	7	4
6,5	5,5	6,5	5,5	6,5	6	6	6	6,5	5,5	6,5	5,5	6,5	6	6	6
6,5	6,5	6,5	7	5,5	7	5	5	6,5	6,5	6,5	7	7	7	7	7
8	7	7	7,5	6	6	6	6	8	7	7	7,5	6	6	6	6
6,5	5,5	7	5,5	5,5	5,5	7	7	6,5	7	7	7,5	6	6	6	6
6	7	5,5	5,5	6,5	5	5,5	5,5	6	7	5,5	5,5	6,5	5	5,5	5,5
7	6,5	6	6,5	7	5	6,5	6,5	7	6,5	6	6,5	7	5	5	6,5
8,5	7	6,5	6,5	6	6,5	5,5	5,5	7	7	6,5	6	6,5	6,5	6,5	6,5
5	7	5	6,5	5	5	5	5	7	7	5	5	5	5	5	5
4	8	7,5	6,5	5	6	4	4	4	8	5	6,5	5	5	5	4
4	6,5	7	8	5	6,5	5	5	4	7	7	8	5	6,5	5	5
6	7	6	7	6,5	7	8	8	6	7	6	7	7	7	7	7
8,5	6,5	5,5	6	6,5	6	6	6	8,5	6,5	5,5	6	6,5	6	6	6
8	6	6,5	6	6	5	5	5	8	6	6,5	6	6	5	5	5
7	7	5,5	5,5	4	4	4	4	7	7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mittelwert	6,61	6,60	6,33	6,45	5,86	5,75	5,69	Mittelwert	6,59	6,66	6,28	6,44	5,88	5,91	5,71
Std.-Abw.:	1,2756	0,8386	0,7482	0,6851	0,6735	0,9105	1,1670	Std.-Abw.:	1,2020	0,7599	0,7296	0,7263	0,6966	0,8797	1,0761

N = 30								N = 25							
gesamtes, ursprüngliches Kollektiv								korrigiertes Kollektiv							
dynamisch	26	23	20	17	14	11	8	dynamische Bewertung	26	23	20	17	14	11	8
5	6	7	7	6	5,5	6	6	5	6	7	7	6	5,5	6	6
7	7	6	6,5	7	6	7	7	7	7	6	6,5	7	6	7	7
7	7	6,5	7,5	5,5	7	6	6	7	7	6,5	7,5	5,5	7	6	6
6,5	7	6	6	5,5	6,5	5	5	7	7	6	6	5,5	6,5	5	5
7,5	7	6,5	6	6,5	5,5	6,5	6,5	7,5	7	6,5	6	6,5	5,5	6,5	6,5
6	6	8	7	6	7,5	5,5	5,5	6	6	8	7	7	7,5	7,5	7,5
7	6	5,5	7,5	6,5	5	7,5	7,5	7	6	5,5	5	6,5	5	7,5	7,5
7,5	6,5	7	5,5	8	8	5,5	5,5	7,5	6,5	6,5	5,5	8	8	5,5	5,5
6	7	6,5	5	7,5	6	5,5	5,5	6	7	6,5	5	7,5	6	5,5	5,5
7,5	7	6,5	7	5	5	5	5	7,5	7	6,5	7	5	5	5	5
7,5	7	5	5	5	5	5	5	7	7	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Mittelwert	6,773	6,724	6,550	6,364	6,500	6,200	6,056	Mittelwert	6,688	6,660	6,500	6,438	6,563	6,000	6,125
Std.-Abw.:	0,8174	0,6890	0,6852	0,9244	0,8660	1,0328	0,8079	Std.-Abw.:	0,9234	0,7176	0,7071	0,8634	0,9039	0,8660	0,8345

N = 30								N = 25							
gesamtes, ursprüngliches Kollektiv								korrigiertes Kollektiv							
Aggregation stat. /dyn. Bewertung	26	23	20	17	14	11	8	Aggregation stat. /dyn. Bewertung	26	23	20	17	14	11	8
Mittelwert	6,67	6,66	6,40	6,42	6,05	5,90	5,80	Mittelwert	6,62	6,66	6,36	6,44	6,1	5,94	5,84
Std.-Abw.:	1,1167	0,7631	0,7240	0,7666	0,7807	0,9595	1,0716	Std.-Abw.:	1,1019	0,7315	0,7147	0,7544	0,8165	0,8578	1,0075

L. Testschrankentabelle

Tabelle A.2: Testschranken $r^*_{S,n}$ des Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten zur beid-seitigen Aussagesicherheit von S in % (gem. SACHS(1997) zitiert in KÜHLMEYER(2000)).

n	$S =$			n	$S =$			n	$S =$		
	90%	95%	99%		90%	95%	99%		90%	95%	99%
4	1	-	-	12	0,5	0,59	0,73	20	0,38	0,45	0,57
5	0,9	1	-	13	0,48	0,56	0,7	21	0,37	0,44	0,56
6	0,83	0,89	1	14	0,46	0,54	0,68	22	0,36	0,43	0,54
7	0,71	0,79	0,93	15	0,45	0,52	0,65	23	0,35	0,42	0,53
8	0,64	0,74	0,88	16	0,43	0,5	0,64	24	0,34	0,41	0,52
9	0,6	0,7	0,83	17	0,41	0,49	0,62	25	0,34	0,4	0,51
10	0,56	0,65	0,79	18	0,4	0,47	0,6	26	0,33	0,39	0,5
11	0,54	0,62	0,76	19	0,39	0,46	0,58	27	0,32	0,38	0,49

M. Probandenkollektiv Augellipsenversuche WAHL 2008

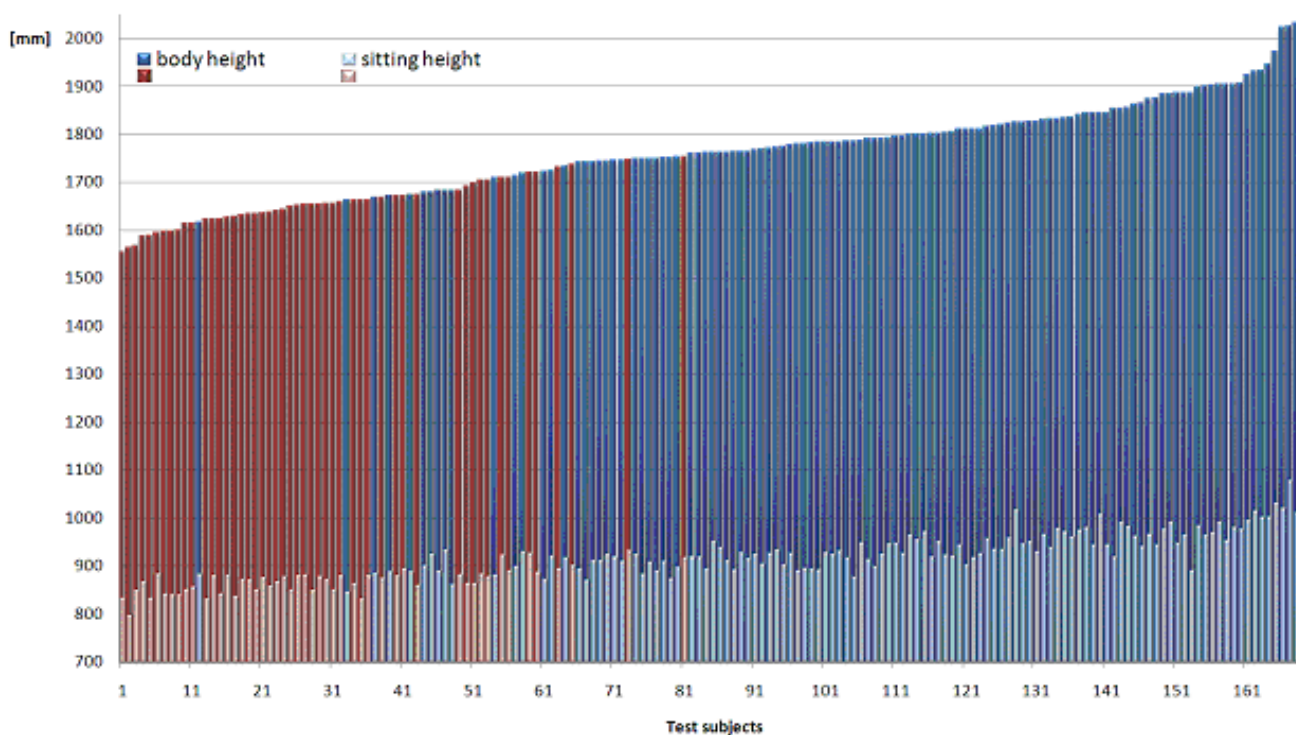


Abbildung A.3: Körpergrößenverteilung des Probandenkollektivs zur Untersuchung der tatsächlichen Augpunktverteilung in einem realen Fahrzeug (WAHL 2008)

N. Übersichtsmatrix: Untersuchungsschwerpunkte & Methodik

Tabelle A.3: Im Promotionsprojekt durchgeführte Untersuchungen aufgetragen nach Untersuchungsgegenstand und verwendeter Methodik / erhobener Messwerte

[illegible]

O. Versuchsmatrix: Erhebung Fahrerbeanspruchung und -Reaktion vs verwendete Erhebungsmethoden je Untersuchungsreihe im Forschungsprojekt

Beanspruchung /Reaktion

Querführungsverhalten / -güte	Längsführungsverhalten / -güte	Fahrfehler / Unfälle	HSF (zur Kontrolle / als Nebenprodukt)	Subjektiv empfundene Beeinträchtigung	mental workload (objektiv EKG-basiert, subjektiv empfunden)	Kompensationsbewegung	Untersuchung: A: A-Säulen-Versuche B: B-Säulen-Versuche C: Rückfahrkamera D: Blickdichteverteilung E: Onlinefragebogen F: Augmented Reality Sitzbock
							Blickbewegungsanalyse
							Blickrichtungsanalyse
		A, C				C	Videoanalyse
			A		A		Physiologische Beanspruchungsmessung
A, C	A, C	A, C					Analyse fahrdynamischer Daten
				B, E, F, C		E,F	Fragebogen (vor bzw. nach der Fahrt)
				A	A		NASA TLX questionnaire on mental workload
						A, F	Headtracking
						B, D	Expertenrating

Erhebungsmethoden

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Modell des gefilterten, unidirektionalen Informationsflusses „Umgebung – Fahrzeug – Fahrer“	1
Abbildung 1.2: Verkehrssituation an weithin einsehbaren Kreuzungen mit proportional querbewegtem Fahrzeug im Schatten der A-Säule.	3
Abbildung 1.3: Anforderungen auf die Karosseriegestaltung und Einflussfaktoren auf die Sichtgestaltung im Fahrzeug	4
Abbildung 2.1: Fahrzeugkoordinatensystem (ECE R125)	12
Abbildung 2.2: Position A-/B-/C-/D-Säulen in unterschiedl. Fahrzeugtypen (eig. Darstellung, Fahrzeug-Ausschnitte: © GM Company)	13
Abbildung 2.3: Lage der Positionierungsmaße Augellipse, SgRP, AHP, BOFRP und des H-Punktverstellfeldes des Sitzes im Fahrzeug (gemäß SAE J941 R2008)	13
Abbildung 2.4: Definition des sog. Öffnungswinkels der A-Säule (eigene Darstellung).....	14
Abbildung 2.5: Überblick der weltweiten Gesetze und Normungen zur Sicht im Fahrzeug (aktualisiert in Anlehnung an HUDELMAIER 2003)	15
Abbildung 2.6: Grenzsichtstrahlen an der A-Säule gemäß ECE R125. <u>Links</u> : Seitenansicht (oben) des Tangentenverlaufs; Säulenschnitte / Tangenten in der Draufsicht (unten). <u>Rechts</u> : Projizierter Tangentenverlauf zur Bestimmung des gesetzlichen A-Säulenverdeckungswinkels.	18
Abbildung 2.7: Schematische Darstellung der Sicht auf die linke A-Säule aus Fahrerperspektive(Fahrtrichtung nach rechts): Vergleich einer schmalen, steilen A-Säule (1) mit einer breiten, stark geneigten A-Säule (2) gleichen Verdeckungswinkels nach ECE R125. Flache Säule mit negativem Verdeckungswinkel (3).	19
Abbildung 2.8: Vergleich der ECE R 125 A-Säulen-Verdeckung bei einem Kompakt-Van A) mit stark geneigter A-Säule und einem Kleinwagen B) mit sehr steil stehender A-Säule, der allgemein für seine Sicht im Bereich der A-Säule gelobt wird (Quelle: eigene Darstellung).	19
Abbildung 2.9: Bodenschatten, Sichthalbkreis und Sichtkeil nach StVZO § 35 b)(Fahrtrichtung nach rechts)	21
Abbildung 2.10: Vergleich der Sichtanforderungen der ECE vs. FMVSS für indirekte Sicht nach hinten (nicht maßstäblich, Fahrtrichtung nach links).	22
Abbildung 2.11: Japanischer Vorschlag zur Definition von Sichtbereichen im Nahfeld vor und neben dem Fahrzeug (nichtfahrerseitig)zur Harmonisierung weltweit einheitlicher, gesetzlicher Anforderungen; Abbildung ähnlich JSRA 44.....	24

Abbildung 2.12: Das Prinzip der SAE-Eyellipse (RUHL 2010 nach SAE 941).....	25
Abbildung 2.13: Typ. Ergebnis der Lasertheodolith-Methode (links); Schattenwurfverfahren (rechts) (gemäß z.B: Whatcar.com(2003))	27
Abbildung 2.14: Photometrisches Analyseverfahren und Vergleichsverfahren nach ESTEVE, AOUSSAT, MILLET (1999).	28
Abbildung 2.15: Prinzip und typ. Messwerte für versch. Fzg-Klassen und AP-Positionen der Hecksichtbeurteilungsmethode des CR (nach CONSUMER REPORTS 2010).	29
Abbildung 2.16: Gewichtete Bodenfläche zur Hecksichtbeurteilung nach NHTSA(2009) [rel. Kollisions-Wahrscheinlichkeit eines rückwärtsbew. Fzg mit einem Fußgänger als Funktion seiner Ausgangsposition (Fahrtrichtung nach rechts)).	30
Abbildung 2.17: Links: stat. Mock-Up zur Fahrzeugbeurteilung; Mitte: dyn. Mock-Up (Bild: Scholly 2006); Rechts: Umbaufahrzeug „Taped Car“: Darstellung verbreiterter C-Säulen).....	31
Abbildung 2.18: Methoden physikalisch-subjektiven Sichtbeurteilung im Zielkonflikt	31
Abbildung 2.19: Virtuelle 2D-Schnitte zur Bestimmung der Säulenverdeckungswinkel (links), virtueller Konformitätsuntersuchung der ECE R125 am DMU (rechts).	32
Abbildung 2.20: Sichtfeld aus dem Zyklopenauge eines RAMSIS-Manikins an einer Kreuzung. Verdeckung von Ampeln und Verkehrsteilnehmern beurteilbar.	32
Abbildung 2.21: Das Reality-Virtuality-Kontinuum (RVK) (SEIB 2009)	33
Abbildung 2.22: Vehicle-in-the-loop-Ansatz unter Verwendung von AR zur Erprobung von Fahrerassistenzsystemen (Bock et al. 2009).	34
Abbildung 2.23: Fahrbarer AR-Versuchsträger (OEHLSCHLAEGER et al. 2005).	34
Abbildung 2.24: Schematische Auswirkungen der Schnittebenenlage bei A1/A2-Säulen. blau: Verdeckung in Ebene 1; rot: Zuwachs in Ebene 2 / 3 gegenüber Ebene 1.	35
Abbildung 2.25: Sichtbeurteilungsmethoden in der Fahrzeugentwicklung im Spannungsfeld Aufwand, mathematische Darstellungsgenauigkeit und Realitätsgrad der Beurteilung (in Anlehnung an WOYNA et al. (2009)).....	37
Abbildung 3.1: Links: Lokalisation der abgeleiteten Sichtziele (Zylinderteilmantelflächen) um den Fahreraugpunkt im Fahrzeug; Rechts: Verteilung Sichtbereichsgewichtung der Gesamtbewertungsmethode als Funktion des Azimuthanteils des Sichtwinkels. Gewichtung resultiert aus der Supersposition der einzelnen Sichtziele (links) und deren individueller, an der Relevanz der assoziierten Verkehrssituation orientierten Gewichtung (gemäß: BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970)).	41

Abbildung 3.2: Schattenwurfmethode auf den konzentrischen Sichtzielen für ein reales Fahrzeug für einen monokularen bzw. binokularen Augpunkt (gemäß BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970)).	42
Abbildung 3.3: Mess-/Bewertungsergebnis eines realen Fahrzeugs sinngemäß nach BARNOWSKI, MAURER, KUGLER (1970). Unterschiedl. Sichtbarkeitsanteile je Azimuthwinkelbereich für mono- ("Basic Eye Position") bzw. binokularen Augpunkt ("composite eye position").	42
Abbildung 3.4: Untertypen des Unfalltyps 3 "Einbiegen/Kreuzen-Unfall"	48
Abbildung 3.5: Datenanalyse "Unfälle mit Blickbehinderung" mit sukzessive Eingrenzung.	51
Abbildung 3.6: Methodik zur Bestimmung des betroffenen Sichtbereichs als Grundlage zu deren Gewichtung.	51
Abbildung 3.7: Einteilung der Rundumsicht in vier Teilsichtbereiche, Gewichtung entsprechend der Analyse der GIDAS-Datenbank anhand von 20130 Unfällen.	52
Abbildung 4.1: Definition des Frontsichtbereichs	54
Abbildung 4.2: Typische Blickdichteverteilungen für die Situationen "Überqueren einer Kreuzung mit Stopp-Schild" (links) und "Gegenverkehr gewähren lassen und links abbiegen" (rechts). Horizontal- und Vertikalwinkel sind Winkel des fahrzeugfesten Koordinatensystems (Quelle: Vorversuche im innerstädtischen Verkehrsraum Darmstadts Januar 2009).	55
Abbildung 4.3: Superpositionsansatz zur Generierung der gewichteten Gesamtblickdichteverteilung als Sichtbedarf zur differenzierten Beurteilung der Frontsichtverhältnisse.	56
Abbildung 4.4: Teilergebnis der Bewertung der Sichtverhältnisse bei Variation der A-Säule im Simulatorversuch. Ergebnisse der in WOYNA et al.(2011) beschriebenen Versuchsreihe entnommen. Tabelle rechts: Holm-Sidak-Test auf Gleichheit der Mittelwerte(H_0).	59
Abbildung 4.5: Kopfgebundenes SMI-Blickbewegungssystem iViewX; Links: der halbdurchlässige Spiegel reflektiert das Infrarotlicht in Auge und dessen Reflexion in die Eye Camera; Die Scene Camera sitzt mittig zwischen den Augen. Rechts: Das Bild der Augenkamera. Pupille und Cornea-Reflex werden von der Auswertesoftware erkannt und markiert.	60
Abbildung 4.6: Scene Video. Schwarzes Quadrat zeigt die aktuelle Blickzuwendung des Probanden. Er schaut in die obere Ecke eines Fensters. Weiter unten im Bild befinden sich zwei der fünf angebrachten fiducial markers.	61
Abbildung 4.7: Schematische Darstellung der Markerkalibration.	61
Abbildung 4.8: Lokalisation der „Fiducial Marker“ im Versuchsträger (Panoramaaufnahme).	62
Abbildung 4.9: Einfluss der Augpunktposition rel. zu einem fix vor dem FZG liegendem Punkt auf den Fixationswinkel α (nichtmaßstäblich, Werte gemäß Augpunktverteilung des Probandenkollektivs	

siehe Abbildung 4.13, S.66). Abschätzung anhand extremer Punkte innerhalb der SAE-Augellipse (1-4) des Versuchsfahrzeugs.	63
Abbildung 4.10: Links: Sichtwinkel auf A-Säule in Abh. der Augpunktposition, qualitativ für vorn/hinten liegende Augpunkte (1/2). Rechts: Überlagerung der Sichtfelder einer 5%-Frau und eines 95%-Mannes am Polarkoordinatenursprung des Messgitters/Focus of Expansion. Die Verdeckungen der A-Säulen überlagern sich nicht.	63
Abbildung 4.11: Methode der Augpunktbestimmung im Versuchsträger: Überlagerung des Augpunktbildes mit einem Bild des Messgitters an definierter Position.	64
Abbildung 4.12: Effektive Verdeckung des Versuchsfahrzeugs für das verwendete Probandenkollektiv. Abschätzung anhand der extremen Augpunktpositionen des Kollektivs im CAD-Modell.....	65
Abbildung 4.13: Augpunkte des Probandenkollektivs. Einteilung in vorn- und hintenliegende Augpunkte. Grenzlinie entspricht dem Verteilungsmittelwert der X-Koordinate.	66
Abbildung 4.14: Versuchsstreckenführung im Innenstadtbereich Darmstadts (Kartenquelle: GOOGLE (2014)) mit zugeordneten Situationsnummern (Nummerierung: eigene Darstellung).	68
Abbildung 4.15: Gewichtungsschlüssel zur Superposition der situationsspezifischen Heatmaps, zusammengesetzt aus maximal N=2173 Einzelheatmaps.	71
Abbildung 4.16: Superponierte Heatmap aller brauchbaren Einzelheatmaps (N = 1570) aufgetragen in Kugelkoordinaten (Breiten- (α) und Meridianwinkel (β)).	72
Abbildung 4.17: Superponierte Heatmap.	72
Abbildung 4.18: Einteilung der Frontsicht in 9 Felder. Gewichtung resultierend aus der superponierten, granulären Blickdichteverteilung aufsummiert innerhalb der Winkelgrenzen (große Beschriftung) der Daimler-Scholly-Methode.	72
Abbildung 4.19: Übersicht der Modifikation der 9-Feldereinteilung nach Daimler-Scholly. Motivation abgeleitet aus identifizierten Defiziten bei der Anwendung auf ein reales Fahrzeug in Verbindung mit den Ergebnissen einer internen, subjektiven Clinic zur Fahrersicht.....	73
Abbildung 4.20: resultierende Feldeinteilung (Grenzwinkel)	74
Abbildung 4.21: Gewichtung der 15 Einzelfelder nach Auswertung der Blickdichteverteilung für die jeweiligen Feldgrenzen. In den Bereich des vereinf. A-Feldes fallen 18,03% der superponierten Blickverteilung. Die Summe aller gültigen <i>Bewertungsfelder</i> beträgt 81,97%. Die Indexierung darauf erzeugt die finale Gewichtung der Felder (unten).	74
Abbildung 4.22: Sichtbewertungstool "Igel" im CAD-Modell (Konfiguration für Feldeinteilung nach RAMSIS-kognitiv). <u>Links:</u> Vollständiger "Igel", entspr. 100%iges Durchsichtsergebnis; <u>Rechts:</u>	

Analyse des reduzierten Igels aus durchdringungsfreien Teilpyramiden. Ergebnis der gewichteten Durchsicht (77%)	76
Abbildung 4.23: Schattenwurfbilder der Sichtbewertung mit der 15-Feld-Methode für das schlechteste Fahrzeug „B“ (links, 65,82%) sowie das beste Fahrzeug „O“ (rechts, 86,61%).....	76
Abbildung 4.24: Ergebnisse der Sichtbewertung der acht Vergleichsfahrzeuge der 15-Feld-Methode mittels Sichtbewertungstool "Igel".	76
Abbildung 4.25: Beurteilungsergebnisse der acht Vergleichsfahrzeuge in der subjektiven, dynamischen Frontsichtbeurteilung: „Wie beurteilen Sie abschließend die Frontsichtbedingungen in diesem Fahrzeug insgesamt?“	78
Abbildung 4.26: Ergebnisse der 15-Feld-Sichtbewertungsmethode des Testkollektivs (links); Subjektiv-Bewertungen der gleichen Fahrzeuge in der dynamischen Beurteilung (rechts).	78
Abbildung 4.27: <u>Links</u> : Korrelationsanalyse der subjektiven Beurteilung mit den objektiven Ergebnissen der 15-Feld-Methode ($R^2 = 0,6462$; $R = 0,8039$); <u>Rechts</u> : identische Korrelationsanalyse ohne SUVs mit erhöhter Augpunktlage ($R^2 = 0,9397$, $R = 0,9694$).....	79
Abbildung 4.28: <u>Links</u> : Schattenwurfanalyse eines realen Fahrzeugs (Opel Meriva B) auf die Beurteilungsfelder von RAMSIS kognitiv (Draufsicht, Schattenwurf nicht abgewickelt) unter Verwendung des „Igel / Hedgehog“-Tools. Relative Feldgewichtung und -winkelgrenzen gemäß RAMSIS. <u>Rechts</u> : Typisches Ergebnis der RAMSISKognitiv-Original-Methode für einen Kleinwagen, Prozentwerte entsprechen dem unverdeckten Anteil der beschatteten Felder.....	80
Abbildung 4.29: Ranking der untersuchten Fahrzeuge gemäß 9-Felder <i>RAMSIS kognitiv</i>	80
Abbildung 4.30: <u>Links</u> : Korrelationsanalyse der 9-Felder RAMSIS-kognitiv-Methode mit den Ergebnissen aus der subjektiven, dynamischen Sichtbeurteilungsreihe der gleichen Fahrzeuge ($R = 0,5518$). <u>Rechts</u> : Korrelationsanalyse unter Ausschluss der SUV ($R = 0,7434$).....	80
Abbildung 4.31: Ranking gem. 15-Feld-Methode mit homogen gewichteten Feldern.	81
Abbildung 4.32: Korrelationsanalyse des ungewichteten Beschattungsergebnisses der 15 Felder ggü. den Ergebnissen der subjektiven Beurteilung in der dynamischen Sichtbeurteilungsreihe (Links: alle Fahrzeuge; rechts: ohne SUV)	82
Abbildung 4.33: Übersicht der Bewertungsvergleiche zur Plausibilisierung ggü. subjektiver Sichtbeurteilung und der Abgrenzung der 15-Feld-Methode von anderen objektiven Methoden.	83
Abbildung 5.1: Auszug aus einer online-Befragung von 469 Autofahrern am IAD aus 2009 hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung durch Fahrzeugbauteile: "Fragebogen zu den Defiziten der Fahrersicht" (LANGER 2009).	86

Abbildung 5.2: Sichtbeeinflussende Fahrzeugbauteile. Vergleich für Front- und Seitensichtbereich. Dominanz der B-Säule im Seitensichtbereich.....	87
Abbildung 5.3: Definition von Sicht- und Verdeckungswinkel der B-Säule.	88
Abbildung 5.4: Schematische Darstellung des Bauraumes typischer, ausgeführter B-Säulenschnitte aktueller Produktionsfahrzeuge verschiedener Klassen (links) und deren Sicht- und Verdeckungswinkel, überlagert am jeweiligen Augpunkt / Mittelpunkt der SAE-Augellipse.....	90
Abbildung 5.5: B-Säulen-Attrappe im quasi-B-Säulenfreien Versuchsträger. Bild zeigt Konfiguration für breitesten Verdeckungswinkel und einen kleinen Sichtwinkel.	91
Abbildung 5.6: Links: Auswirkungen unterschiedlicher Augpunkthöhen bei gleichem Sichtwinkel und z-invariantem Querschnitt (links); Kompensation dieses Effektes anhand Stützstellen-basierter Berechnung der vorderen und hinteren Säulenkontur zur Konstanthaltung des Verdeckungswinkel in unterschiedl. Z-Schnitthöhen (Mitte). B-Säulen-Attrappe mit resultierenden Seitenwandprofilen und Verstelleinrichtung (nicht dargestellt: <i>Lücke zw. Seitenwänden mit schwarzer Lederhaut geschlossen</i>) (rechts).....	92
Abbildung 5.7: Überblick der Verkehrssituationen zur kontextbezogenen Beurteilung der Sichtverhältnisse im Bereich der B-Säule (Kartenquelle: GOOGLE (2014)).	92
Abbildung 5.8: Körpergrößen und Geschlechtsverteilung des Probandenkollektivs.....	93
Abbildung 5.9: Augpunktpositionen im Fahrzeugkoordinatensystem inkl. SAE-Augellipse des Versuchsfahrzeugs. Augpunktmessmethode identisch zu der in Kapitel 4 beschriebenen (links). Zuordnung der Gruppen zu den Sichtparamtervarianten (rechts).....	93
Abbildung 5.10: Differenzen dynamischer und statischen Bewertung für alle 30 Probanden.	95
Abbildung 5.11 : Vergleich statischer und dynamischer Beurteilungsergebnisse des 23°-B-Säulen- Sichtwinkels für das gesamte Probandenkollektiv $N_{\text{ges}} = 30$ (links). Reduziertes Kollektiv zur Optimierung der Korrelation stat. und dyn. Beurteilung $N_{\text{red}} = 25$ (rechts).....	95
Abbildung 5.12: Boxplot der aggregierten Beurteilungsdaten des korrigierten Kollektivs (Für B-Säulen- Sichtwinkel $\alpha = 23^\circ$: $N_{23^\circ} = 50$, sonst $N_{\text{sonst}} = 25$).....	96
Abbildung 5.13: Mittelwerte & Standardabweichung der subjektiven B-Säulen-Sichtwinkelbeurteilung aggregiert aus den stat. und dyn. Teiluntersuchungen des korrigierten Kollektivs.....	96
Abbildung 5.14: Boxplots & Mittelwerte (+/- 1fache SD) der aggregierten Beurteilungen der sieben getesteten B-Säulen Sichtwinkel.....	99
Abbildung 5.15: Einzelergebnisse der Sichtwinkelbeurteilung probandenweise.	100
Abbildung 5.16: Häufigkeiten der Nennungen der am sicherheitskritischsten empfundenen Verkehrssituationen in Abhängigkeit des Sichtwinkels (links) und insgesamt (rechts).....	102

Abbildung 5.17: Häufigkeit der Nennungen von qualitativen Sichtbeeinträchtigungen je Sichtwinkel.	103
Abbildung 5.18: Kamerabasierte Fahrerbeobachtung zur Fremdbewertung der Mobilität/Umfang von Ausgleichsbewegungen; Gegenüberstellung Selbsteinschätzung / Fremdbewertung.	104
Abbildung 5.19: Mittelwerte der Sichtbewertung der B-Säulen-Sichtwinkel in Abhängigkeit der Mobilität des Fahrers. Links: kategorisiert nach Eigenbewertung der Fahrer vor den Versuchen; Rechts: fremdbewertete Mobilität mittels beobachteter Kompensationsbewegung.)	104
Abbildung 5.20: Gegenüberstellung stat. & dyn. Beurteilungen (Boxplot, MW ± 1 fache SD).....	105
Abbildung 5.21: Vergleich der Augellipsen nach SAE-Konstruktionsvorschrift für den verwendeten Versuchsträger und der tatsächlichen Augellipse, abgeleitet aus der gemessenen Augpunktverteilung des Probandenkollektivs	107
Abbildung 5.22: Methode zur Bestimmung des Erfüllungsgrades des Seitensichtbedarfs. Die B- Säulensichtwinkel-Tangente für $\alpha=17^\circ$ teilt, je nach B-Säulenposition, die Häufigkeitsverteilung $h(x)$ der erwarteten Fahreraugpunkt-X-Positionen in unterschiedlich große Teilgruppen ($\alpha<17^\circ$, $\alpha>17^\circ$). Der Erfüllungsgrad $E_{\text{Seite}} = H(x_{\alpha=17^\circ})$ ergibt sich somit aus der kum. Häufigkeit $H(x)$ der Augpunkt-X-Position für B-Säulenpositionswinkel $\alpha = 17^\circ$	107
Abbildung 6.1: erstes Hecksichtziel "Rear Approaching Vehicles Target" für den Abstandsbereich 50 – 100ft (15-30m) hinter dem Fahrer-H-Punkt (gemäß: FORBES et al. 1970, S.75).....	109
Abbildung 6.2: Zweites Sichtziel "Rear Approaching Vehicles Target" für den Abstandsbereich von 100-200ft (30-60m) hinter dem Fahrer-H-Punkt in absoluten Koordinaten und in Elevations- und Azimuthwinkel (gemäß: FORBES et al. 1970).....	110
Abbildung 6.3: Resultierendes "Composite Rear Target" (sinngemäß nach FORBES et al. 1970) ..	111
Abbildung 6.4: Prinzip der überlagerten Projektion der ECE R 46 Bodenfläche (rot) mit dem Composite Rear Target (blau) auf eine Ebene 15m hinter dem H-Punkt (AP: Augpunkt).	112
Abbildung 6.5: MS-Excel-basierte Überlagerung des Composite-Rear Target mit den Anforderungen der ECE R46. Absolute Abmessungen der Targets auf der 15m-Ebene („15m“) bzw. der ECE- Fläche auf einer 60m-Ebene („60m“)	112
Abbildung 6.6: Prinzipskizze der maximalen, vom Fahrzeug überstreichbaren rückwärtigen Bodenfläche. Abschätzung für Quereinparkmanöver. Randbedingungen: Seitenkraftfreie Kurvenfahrt ("Ackermannbedingung") bei maximalem Radlenkwinkel. Flächengeometrie abhängig von den Fahrzeugparametern (Länge, Breite, Radstand, Karosserieüberhänge, minimaler Wendekreis bzw. maximaler Radlenkwinkel).....	114

Abbildung 6.7: Darstellung der gesamten Bodenbeurteilungsfläche aus der Überlagerung der erreichbaren Bodenfläche beim rückwärtigen, seitlichen Einparken nach links bzw. nach rechts. (Der Umblickaugpunkt als Kugelkoordinatenursprung liegt in Form einer Projektion des Definitionsaugpunktes auf der Fahrzeugmittelebene).	115
Abbildung 6.8: Darstellung der Bodenbewertungsfläche in Kugelkoordinaten zur Überlagerung der verdeckenden Fahrzeugstruktur (ohne die großen Seitenflächen, die das Fahrzeug beim Ausscheren mit der Front überstreicht)	116
Abbildung 6.9: Darstellung einer typischen Verdeckungssituation eines beispielhaften Fahrzeugs auf dem Nahbereichs-Target.	116
Abbildung 6.10: Resultierendes Fernbereichstarget im Datenmodell eines realexistierenden Fahrzeugs positioniert auf den Spiegelaugpunkt zur Ermittlung der Hecksichtbedingungen im (indirekten) Fernsichtbereich. Targetgeometrie abgeleitet gemäß Forbes et al. (1970)(wie oben eingehend beschrieben).	117
Abbildung 6.11: Entstehungsprinzip des Nahbereichshecksicht-Targets für ein typisches Fahrzeug der Kompaktklasse.	118
Abbildung 6.12: Ergebnisse der subjektiven Gesamtbeurteilungen der Hecksichtbedingungen aus einer dynamischen Probandenstudie (N>40). (SUVs (rot) werden auch hier bauartbedingt (Standhöhe, Augpunkthöhe über Grund) aus der Betrachtung ausgeschlossen)	119
Abbildung 6.13: Fernbereichsbewertung für Fahrzeug "C" (links) und Fahrzeug "D" (rechts).	119
Abbildung 6.14: Nahbereichsbewertung für Fahrzeug "C" (links) und Fahrzeug "D" (rechts).	120
Abbildung 7.1: Überblick über die Teilsichtbereiche: Globale Gewichtung und Erhebungsmethode zur Sichtbedarfsermittlung	121
Abbildung 7.2: Frontsichtbewertung gemäß 15-Feld-Methode (Details: S. 76)	122
Abbildung 7.3: RAMSIS-Augpunktverteilung (Mittenaugen: 5.Perzentil wbl. - 95.Perzentil männl.) im Beispielfahrzeug je für kleine, mittlere und große Rumpflängen. Grenzlinie („3400“) ergibt sich als Schnittlinie aus der Tangentenebene (rot, rechtes Bild) an die B-Säulenvorderkante (türkis, rechtes Bild) unter 17° nach vorn/innen verlängert mit der Fahrermittenebene (Punktwolke der Mittenaugenverteilung)	123
Abbildung 7.4: Links: Verteilung von dynamisch ermittelten Augpunktpositionen in einer Mittelklasselimousine (oben). (Unten/Mitte: ermittelte Sitz- und Lenkradpositionen). Rechts: Verteilung der Körpergröße (stehend & sitzend) des Probandenkollektivs (WAHL 2008).	123
Abbildung 7.5: Ergebnis der exemplarischen Seitensichtbeurteilung: 88,2% für das Mittelklassefahrzeug, 90,0% für das Kompaktklassefahrzeug.	124

Abbildung 7.6: Ergebnis der Hecksicht-Nahbereichsbeurteilung. Voll-Target bzw. sichtbarer Anteil als Resultat der Durchdringungsanalyse der einzelnen Targetkegel (Pins) mit der sichtverdeckenden Fahrzeugstruktur.....	125
Abbildung 7.7: Ergebnis der Hecksicht-Fernbereichsbeurteilung. Voll-Target bzw. sichtbarer Anteil als Resultat der Durchdringungsanalyse der einzelnen Targetkegel (Pins) mit der sichtverdeckenden Fahrzeugstruktur.....	125
Abbildung 8.1: Im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Bewertungsmethode der Frontsicht in industrieller Anwendung (CADILLAC 2013).....	130

Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club
AE	Augellipse
AHP	Accelerator Heal Point
AP	Augpunkt
BOA	Back Over Accidents
BoFRP	Ball of Foot Reference Point
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CMVSS	Canadian Motor Vehicle Safety Standards
DMU	Digital Mock Up
DOT	Department of Transportation (US)
F-KKOS	fahrzeugfestes Kugel-Koordinatensystem
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard (US)
GM	General Motors
GME	General Motors Europe
IAG	Insurance Australia Group
MIRA	Motor Industry Research Association (GB)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (US)
PMU	Physical Mock Up
P-KOS	pixelbasiertes Koordinatensystem des Kamerabildes
SAE	Society of Automotive Engineers
SBINNEN	Sichtbehinderung innerhalb des Fahrzeugs; bspw. durch Fahrzeugteile wie Säulen, Sonnenblenden etc.
SgRP	Seating Reference Point
SUV	Sports Utility Vehicles
TRL	Transportation Research Laboratory (UK)
TÜV	Technischer Überwachungsverein

Variablenverzeichnis

$m_{TK,mD}$	Masse eines Hedgehog-Targetkegels mit Durchdringung mit der Fahrzeugstruktur
$m_{TK,oD}$	Masse eines Hedgehog-Targetkegels ohne Durchdringung mit der Fahrzeugstruktur
TK_{mD}	Hedgehog-Targetkegel mit Durchdringung mit der Fahrzeugstruktur
TK_{oD}	Hedgehog-Targetkegel ohne Durchdringung mit der Fahrzeugstruktur

Lebenslauf

Name Dipl.-Ing. Lars Woyna

Schulbildung

09/88 – 06/92 Westend-Grundschule, Worms am Rhein

07/92 – 06/01 Eleonoren-Gymnasium, Worms am Rhein

06/01 Abschluss Abitur

Studium

10/01 – 01/08 Studium des allgemeinen Maschinenbaus an der Technischen Universität Darmstadt
Diplomarbeit: „Entwicklung von Global Chassis Control Konzepten, die die Fahrzeugvertikaldynamik mit der Längs- und Querdynamik verknüpfen“

Beruf

05/08 – 03/11 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft des Fachbereichs Maschinenbau der TU Darmstadt

04/11 – 04/12 Compartment Integration Design Engineer (Vehicle Configuration) bei der Adam Opel AG (Rüsselsheim)

seit 05/12 Configuration Lead Engineer (Adam Opel AG, Rüsselsheim)

Veröffentlichungen

BRUDER, R. ; LANDAU, K. ; WOYNA, L.: Bedienelemente. In: WINNER, Hermann ; HAKULI, Stephan ; WOLF, Gabriele (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort ; mit 45 Tabellen. Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009, ISBN- 978-3-8348-0287-3, S. 325-329

WOYNA, L.; GLOGER, S.; BRUDER, R.: Methodische Ansätze zur Sichtbeurteilung im Fahrzeug. In: Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten, 56. Frühjahrskongress der GfA, 24. - 26. März 2010 in Darmstadt, Tagungsband. Dortmund: GfA-Press, S. 131-134.

WOYNA, L.; GLOGER, S.; BRUDER, R.; SEIB, C.: Augmented Reality Seating Buck – A Validated Data Based Tool to Assess Visibility Subjectively. In: Automobiles and Sustainable Mobility, FISITA 2010 World Automotive Congress, May 30th – June 4th 2010 in Budapest (Hungary), Proceeding.

WOYNA, L.; GLOGER, S.; BRUDER, R.; PREIN, D.; FOCKE, J.; ROSSMANN, P.: Der Einfluss der Sichtbeeinträchtigung durch die A-Säulen auf die Fahrzeugführung – eine Vergleichsstudie im Fahrsimulator. In GfA Frühjahrskonferenz 2011 – Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess. S. 189-192

WOYNA, L.; GLOGER, S.; RUHL, J.: Sicherheitsmaßstab Sicht – Entwicklung einer Bewertungsmethode. In: Hermann Winner, Ralph Bruder (Hrsg.): Maßstäbe des sicheren Fahrens? Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2013, ISBN- 978-3-935089-27-9 S. 23-36

Patente & Offenlegungsschriften:

DE102010035203A1: Vorrichtung und Verfahren zum Einstellen eines Sichtbereichs eines Fahrers in einem Fahrzeug, Anmelder: GM Global Technology Operations LLC, Michigan, Detroit, US, Erfinder: Woyna, L.; Schreiber, M.; Veröffentlichungsdatum: 21.03.2012
<http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=DE102010035203A1>;
letzter Zugriff: 25.06.2013